

Treball de Fi de Grau

## **Grau en enginyeria en tecnologies industrials**

# **Implementació d'un sistema d'adquisició de dades de la qualitat de l'aire en recintes interiors**

### **MEMÒRIA**

**Autor:** Jordi Cahué Mayans  
**Director:** JESUS ANDRES ALVAREZ FLOREZ  
**Convocatòria:** Gener 2020



Escola Tècnica Superior  
d'Enginyeria Industrial de Barcelona





## Resum

El projecte consta de la implementació de dos circuits electrònics per mesurar dades de la qualitat de l'aire en recintes interiors. El primer muntatge és del tipus datalogger, és a dir, que emmagatzema totes les dades de concentracions de gasos mentre està funcionant. Posteriorment aquestes dades es poden extreure per tal de fer-ne un estudi. Aquest muntatge s'ha fet utilitzant la placa Arduino UNO.

El segon muntatge anomenat "alarma sensor" té l'objectiu d'establir una comunicació directa amb l'usuari. El sistema avisa a l'usuari quan hi ha certes concentracions de gasos que poden ser perjudicials per a la salut. Aquesta comunicació es fa mitjançant la plataforma Telegram. Aquest muntatge s'ha fet amb la placa Raspberry Pi 3 b.

S'ha utilitzat un sensor de la família MQ, concretament el MQ135. Aquest sensor es capaç de detectar diversos gasos com  $\text{NH}_4$ ,  $\text{NO}_x$ , alcohol, benzè, fum de tabac,  $\text{CO}_2$ , etc. En aquest projecte s'han fet tots els experiments amb el gas  $\text{CO}_2$ . Tot i això tota la metodologia emprada es pot aplicar a qualsevol dels altres gasos.

# Sumari

<b>SUMARI</b>	<b>4</b>
<b>1. GLOSSARI</b>	<b>7</b>
<b>2. PREFACI</b>	<b>9</b>
2.1. Origen del projecte .....	9
2.2. Motivació .....	9
<b>3. INTRODUCCIÓ</b>	<b>11</b>
3.1. Objectius del projecte .....	11
<b>4. QUALITAT DE L'AIRE INTERIOR</b>	<b>12</b>
4.1. Classificació de contaminants de l'aire interior .....	12
4.1.1. Contaminants químics: .....	12
4.2. Fonts i producció .....	14
4.2.1. Sistemes de ventilació .....	14
4.2.2. Contaminació exterior .....	14
4.2.3. Contaminació interior .....	15
<b>5. ESQUEMA GENERAL</b>	<b>16</b>
<b>6. MATERIALS</b>	<b>17</b>
6.1. Materials muntatge amb Arduino UNO "Datalogger" .....	18
6.1.1. Placa Arduino UNO .....	18
6.1.2. Família de sensors MQ .....	20
6.1.3. Sensor MQ135 .....	21
6.1.4. LED i resistència .....	22
6.1.5. Lector de targetes micro SD i targeta micro SD .....	24
6.1.6. Alimentació .....	26
6.2. Muntatge amb Raspberry Pi 3 model b "Alarma sensor" .....	27
6.2.1. Placa Raspberry Pi 3 model b .....	27
6.2.2. Sensor MQ135 .....	30
6.2.3. Convertidor Analògic-digital: MCP3008 .....	30
6.2.4. Convertidor de nivells lògics bidireccional de 3.3V a 5V .....	30
6.2.5. Cable de connexió a Ethernet i cable d'alimentació .....	31
6.3. Materials comuns .....	32
6.3.1. Protoboard .....	32
6.3.2. Cables de connexió .....	32

<b>7. CÀLCUL DE LA CONCENTRACIÓ DE CO<sub>2</sub> EN PPM</b>	<b>34</b>
7.1. Calibració del sensor MQ135 (per CO <sub>2</sub> )	34
7.2. Càlculs per trobar el valor de RS	36
<b>8. ENTORN DE PROGRAMACIÓ</b>	<b>37</b>
8.1. Muntatge “datalogger”	37
8.1.1. Arduino software (IDE)	37
8.1.2. Estructura del programa bàsica	38
8.1.3. Escriptura d'un fitxer (Datalogger)	38
8.2. Muntatge “Alarma sensor”	39
8.2.1. Raspberry Pi Software	39
8.2.2. Instal·lació de Telegram a la Raspberry Pi	39
8.2.3. Connexió de la placa Raspberry Pi a l'ordinador portàtil	39
<b>9. MUNTATGE AMB ARDUINO “DATALOGGER”</b>	<b>42</b>
9.1. Propòsit	42
9.2. Connexions	42
9.3. Experimentació, validació i primers resultats	44
<b>10. MUNTATGE AMB RASPBERRY PI “ALARMA SENSOR”</b>	<b>48</b>
10.1. Propòsit: “Connexió entre el sistema i dispositiu mòbil”	48
10.2. Connexions	49
10.3. Esquema de funcionament intern	52
10.4. Experimentació, validació i resultats	53
<b>11. ESCENARIS D'APLICACIÓ DEL SISTEMA</b>	<b>56</b>
11.1. Descripció de l'entorn i mode d'ús	56
11.1.1. Sistema datalogger	56
11.1.2. Sistema Alarma sensor	56
<b>12. PLANIFICACIÓ TEMPORAL</b>	<b>58</b>
<b>13. COSTOS DEL PROJECTE</b>	<b>59</b>
<b>14. IMPACTE AMBIENTAL</b>	<b>62</b>
<b>15. CONCLUSIONS</b>	<b>63</b>
<b>16. AGRAÏMENTS</b>	<b>64</b>
<b>17. BIBLIOGRAFIA</b>	<b>65</b>



## 1. Glossari

LGP: gas líquat del petroli

PWD: Pulse Width Modulation

SRAM: static random access memory

EEPROM: Electrically Erasable Programmable Read-Only Memory

Ppm: Parts per mil·lió

SPI: Serial Peripheral Interface

Targeta SD: Secure Digital

Targeta SDHC: Secure Digital High Capacity

SPI: Serial Peripheral Interface

GPIO: General Purpose Input/Output

UART: Universal Asynchronous Receiver/Transmitter

I2C: Inter-Integrated Circuit

CSI: Camera Serial Interface

DSI: Display Serial Interface

SSH: Secure Shell

IP: Internet Protocol





## **2. Prefaci**

### **2.1. Origen del projecte**

El projecte neix de la preocupació enfront de la qualitat l'aire que respirem en el dia a dia i en els entorns on ens movem. És un fet que des de la industrialització s'han fet grans avenços tecnològics però no s'han tingut en compte els possibles efectes adversos d'aquest creixement exponencial. Un d'ells és la contaminació atmosfèrica. Per tant és d'especial interès saber la qualitat de l'aire que estem respirant per tal que no sigui perjudicial per a la salut. Les persones passen molt de temps en recintes tancats com per exemple durant la jornada laboral i és important que l'aire que respiren estigui en bones condicions.

### **2.2. Motivació**

La motivació principal ve de la idea de poder facilitar informació sobre la qualitat de l'aire i que els usuaris puguin prendre decisions d'acord amb aquesta informació. El fet d'haver cursat diverses assignatures relacionades amb el treball, com poden ser electrònica, informàtica, tecnologia del medi ambient i sostenibilitat, m'han encoratjat a realitzar aquest projecte i així aprendre en temes de hardware, muntatges electrònics i programació.



## **3. Introducció**

### **3.1. Objectius del projecte**

- Construcció d'un sistema d'adquisició de dades de la qualitat de l'aire amb posterior tractament d'aquestes.
- Construcció d'un sistema d'alarma per detectar concentracions elevades de gasos perjudicials per a la salut.
- El sistema ha de ser econòmic i lleuger per tal que una persona el pugui transportar d'un lloc a un altre sense cap dificultat.
- Veure les diferències de potencial entre dos hardwares: Arduino UNO i Raspberry Pi.
- Facilitar una aplicació que ajudi a prevenir accidents tant en la vida domestica com laboral.
- Determinació de concentracions de gasos en l'aire d'un recinte tancat.

## 4. Qualitat de l'aire interior

Aquest treball està enfocat a l'estudi de la qualitat de l'aire interior. El terme aire interior sol aplicar-se a ambients d'interiors no industrials tals com oficines, escoles, teatres, restaurants, etc. També engloba les cases particulars. La qualitat de l'aire que respirem té un efecte directe en la nostra qualitat de vida, sent un dels factors més significatius de les malalties respiratòries que afecten la nostra salut. Les persones passen aproximadament el 90% del temps en espais tancats i és per això que la qualitat de l'aire és d'especial importància. La EPA ( Environmental protection Agency) estima que les persones pateixen el 72% de l'exposició a químics quan estan en ambients d'interiors, fet que la majoria de la gent ho desconeix i pensen que estan més segurs a casa o en el seu entorn de treball. La manera més directe per avaluar la qualitat de l'aire interior és a través de l'opinió dels usuaris. Quan el 20% dels usuaris d'un edifici es queixen de la qualitat de l'aire o presenten símptomes, apareix el terme conegut com a "*síndrome del edifici enfermo*". Molts edificis estan construïts i dissenyats per ser més hermètics amb la idea de preservar millor l'energia i així abaratir els costos. L'ús de nous materials de construcció o decoració tals com mobiliari sintètic, moquetes, recobriments interiors, pintures, etc, emeten una gran quantitat de contaminants a l'interior. La combinació d'edificis estancs junt amb la contaminació de procedència tant d'interior com d'exterior ha desembocat en un deteriorament de l'habitabilitat dels edificis.

### 4.1. Classificació de contaminants de l'aire interior

#### 4.1.1. Contaminants químics:

Els contaminants químics de l'aire interior poden estar en forma de gasos (tant orgànics com inorgànics) i partícules i poden haver penetrat a l'interior de l'edifici des del mateix interior o des de l'exterior. Els contaminants químics principals en l'aire interior són els següents:

Contaminants inorgànics:

- Diòxid de carboni ( $\text{CO}_2$ ): El diòxid de carboni és un gas que es forma per la combustió de substàncies que contenen carboni. En recintes no industrials la font principal és la respiració humana i el fum del tabac, tot i que també pot provenir d'altres combustions (cuines i calefacció).
- Monòxid de carboni (CO): És un gas inodor, incolor i molt tòxic. En

concentracions elevades pot causar la mort. Es produeix per la deficient combustió de substàncies com gas natural, gas propà, gasolina, querosè, carbó, petroli, tabac o fusta.

- Òxids de nitrogen ( $\text{NO}_x$ ): S'aplica a un grup de compostos químics binaris molt reactius. Els més importants són el monòxid de nitrogen ( $\text{NO}$ ) i el diòxid de nitrogen ( $\text{NO}_2$ ). Es generen en els processos de combustió, sobretot a temperatures altes.
- Diòxid de sofre ( $\text{SO}_2$ ): És un gas incolor, no inflamable i soluble en aigua. A concentracions elevades té una forta olor, afectant sobretot a les mucositats i pulmons. Aquest contaminant és alliberat en els processos de combustió en els que el combustible conté certes quantitats de compostos ensofrats.
- Ozó ( $\text{O}_3$ ): En l'aire interior es genera principalment a partir de les màquines fotocopiadores, llums de descàrrega d'altres freqüències, llums ultraviolats i descàrregues d'arc elèctric. La utilització d'ozonitzadors per desodoritzar l'aire és una altra font de generació.

#### Contaminants orgànics:

- Compostos orgànics volàtils (COV's): Són composts químics sobre la base de carboni principalment derivats de la indústria petroquímica. Els edificis tenen una gran varietat de productes tant de construcció com de decoració que són emissors d'aquests compostos, com pintures, vernissos, moquetes, aglomerats, etc. Així mateix els productes de neteja i manteniment, productes de control de plagues, fum de tabac, fuites d'automòbils, etc, emeten també aquest tipus de químics.

#### Altres contaminants d'interès:

- Radó: El radó és un gas d'origen natural que no té olor, sabor ni color. Es produeix a partir de la desintegració radioactiva natural de l'urani, que es troba a la natura, en els terres i roques. Passa fàcilment del terra a l'aire on es desintegra i emet partícules radioactives. En ambients exteriors es dilueix ràpidament i no sol presentar cap problema. En canvi, en espais tancats, les concentracions de radó són més elevades i poden provocar efectes perjudicials per a la salut com el càncer de pulmó. El radó és la segona causa més important de càncer de pulmó després del tabac.

- Fum del tabac: El fum del tabac està compost per una mescla complexa de productes químics. S'estima que conté més de quatre mil components, molts dels quals són tòxics. Els components amb més probabilitats de provocar malalties són els següents: quitrà, nicotina, monòxid de carboni, òxids de nitrogen, àcid cianhídric, metalls (níquel, arsènic, cadmi, crom, plom) i compostos radioactius (poloni-210 i potassi-40). Les partícules del fum del tabac es troben, en aproximadament un 95% a dins de l'interval respirable. És per això que la seva presència a l'aire interior d'un edifici afecta tant a fumadors com a no fumadors.

## 4.2. Fonts i producció

### 4.2.1. Sistemes de ventilació

Els sistemes de ventilació tenen un paper molt importat respecte a la qualitat de l'aire interior. Les causes d'una ventilació inadequada poden ser les següents: una entrada insuficient d'aire fresc a causa d'una alta recirculació de l'aire o a un baix volum d'entrada; una col·locació incorrecta en l'edifici de les preses d'entrada i sortida de l'aire; una mala distribució de l'aire que provoca mescles incompletes amb l'aire exterior, estratificació de l'aire i diferències de pressió entre diverses zones de l'edifici; un incorrecte filtrament de l'aire degut a un error en el disseny o de falta de manteniment.

El fet que els edificis siguin molt eficients energèticament i estancs fa que tinguin tasses d'intercanvi amb l'aire exterior baixes. Moltes de les mesures per reduir els costos d'energia afecten a la qualitat de l'aire interior.

### 4.2.2. Contaminació exterior

Hi ha tres fonts principals de contaminació exterior: la combustió en fonts estacionàries (centrals energètiques), la combustió de fons mòbils (vehicles de motor) i els processos industrials. Els cinc contaminants més importants emesos per aquestes tres fonts són els següents: el monòxid de carboni, els òxids de sofre i de nitrogen, els compostos orgànics volàtils, els hidrocarburs i les partícules.

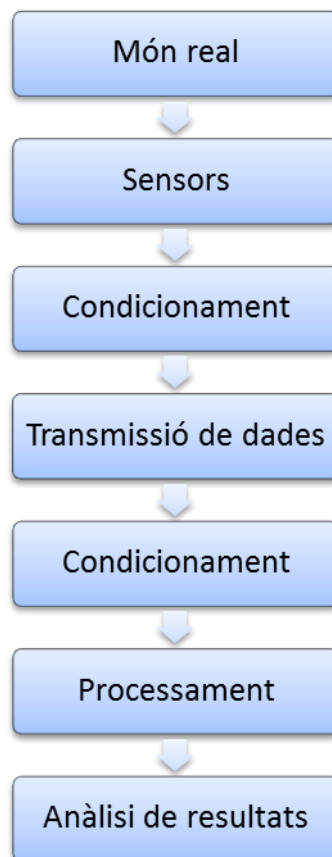
Està demostrat que a l'augmentar la concentració en l'aire exterior d'un contaminant, augmenta també la seva concentració en l'interior d'un edifici, tot i que més lentament. Passa el mateix quan disminueix la concentració del contaminant. És per això que es diu que els edificis presenten l'anomenat efecte escut.

#### **4.2.3. Contaminació interior**

La contaminació interior té diferents orígens: els propis usuaris, els materials inadequats o amb defectes tècnics utilitzats en la construcció de l'edifici, els gasos de combustió (procedents del tabac, de les cuines, dels laboratoris i dels aparcaments), el treball realitzat a l'interior, el us excessiu o inadequat de certs productes (productes de neteja, desinfectants, plaguicides i encerats) i de la contaminació procedent d'altres zones poc ventilades.

## 5. Esquema general

Un cop conegut tots els tipus de contaminants que poden estar present en aires interiors es defineix una metodologia genèrica per tal de mesurar les concentracions d'aquests gasos. La figura 5.1 mostra el diagrama de blocs del qual es parteix:



*Figura 5.1 Esquema de blocs (Font: pròpia)*

Aquesta cadena correspon a un sistema d'adquisició de senyals del món real. En el nostre cas el món real correspon a un recinte tancat (edificis, oficines, restaurants, etc.) del qual es vol obtenir informació de la qualitat de l'aire. Per obtenir aquesta informació es fan servir els sensors, aparells capaços de captar les magnituds físiques no elèctriques del món real i convertir-les en magnituds elèctriques. Aquestes magnituds elèctriques han de condicionar-se adequadament per poder ser transmeses i enteses per la part del sistema que ha de processar-les. Un cop processades s'analitzen els resultats per tal de poder determinar la qualitat de l'aire del sistema d'estudi i així poder actuar en conseqüència.



## 6. Materials

En aquest apartat es descriu tot el material utilitzat per realitzar el projecte. També es justifica el perquè de la seva elecció. En el projecte es realitzen dos muntatges diferents amb diferents plaques. Un primer muntatge amb Arduino UNO en què el propòsit és realitzar un muntatge del tipus datalogger i un segon muntatge amb Raspberry Pi 3 en què el propòsit és realitzar un muntatge que sigui capaç de comunicar-se amb l'usuari quan hi ha una concentració perjudicial per a la salut. A continuació es fa un llistat de tots els materials que es necessiten per fer cada muntatge.

Muntatge amb Arduino UNO:

- Placa Arduino UNO
- Sensor MQ135
- LED i resistència
- Lector de targetes micro SD i targeta micro SD
- Alimentació
- Protoboard i cables

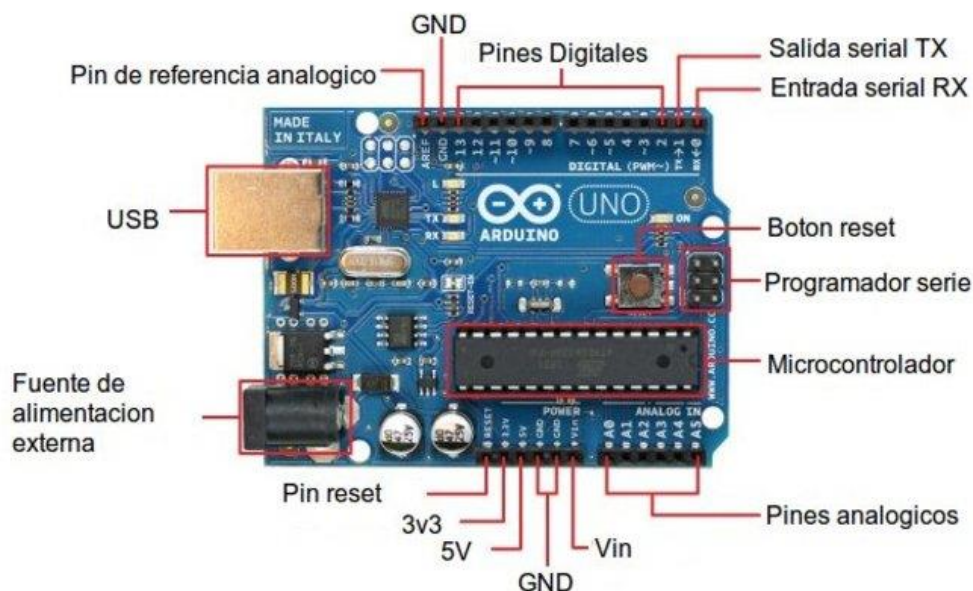
Muntatge amb Raspberry Pi 3 model b:

- Placa Raspberry Pi 3 model b
- Sensor MQ135
- Convertidor Analògic-Digital: MCP3008
- Convertidor de nivells lògics de 3.3V a 5V
- Cable de connexió Ethernet
- Cable d'alimentació
- Protoboard i cables

## 6.1. Materials muntatge amb Arduino UNO “Datalogger”

### 6.1.1. Placa Arduino UNO

Arduino UNO és una placa electrònica que integra principalment a un microcontrolador i a un conjunt de pins d'entrades i sortides que permeten, mitjançant un programa informàtic, interaccionar amb el món real mitjançant sensors i actuadors electrònics. Arduino és una plataforma de codi obert, és a dir, tant el hardware com el software són lliures, accessibles, flexibles i fàcils d'usar per a l'usuari. La figura 6.1 mostra les diferents parts de la placa:



*Figura 6.1 Parts placa Arduino UNO (Font: [www.ingmecafenix.com](http://www.ingmecafenix.com))*

Entrades i sortides:

14 entrades digitals que es poden configura com entrades o sortides que operen a 5 o 0 volts. Cada pin pot subministrar fins a 40 mA. La intensitat màxima d'entrada també és de 40 mA.

6 entrades analògiques amb una resolució de 10 bits que proporcionen un nombre enter de 0 a 1023. Mitjançant aquestes entrades analògiques es pot obtenir dades de sensors en forma de variacions contínues d'un voltatge.

6 sortides PWM destinades a la generació de senyals PWM de fins a 8 bits.

La placa pot alimentar-se directament mitjançant el cable USB connectant-lo a l'ordinador. També es pot alimentar a través d'una font d'alimentació externa, com pot ser un petit transformador que adapti el voltatge o, per exemple amb una pila. Es fa pel connector jack.

A continuació es mostra un resum de les característiques tècniques de la placa Arduino UNO:

Microcontrolador	Atmega328
Voltatge d'operació	5V
Voltatge d'entrada (recomanat)	7 – 12V
Voltatge d'entrada (Límit)	6 – 20V
Pins Entrada/Sortida digital	14 (6 poden usar-se com a sortida PWM)
Pins entrada analògica	6
Corrent continu Pin IO	40 mA
Corrent continu Pin 3.3V	50 mA
Memòria Flash	32 KB
SRAM	2KB
EEPROM	1KB
Freqüència de rellotge	16MHz

Per començar a fer els primers muntatges i fer els primers experiments s'ha escollit aquesta placa per les següents raons:

- Econòmic: La placa Arduino és barata comparada amb altres plataformes de microcontroladors. En concret la placa Arduino UNO es pot trobar per menys de 30 €.
- Multi-plataforma: El programari Arduino (IDE) funciona en sistemes operatius Windows, Macintosh OS X i Linux. En concret en aquest muntatge es fa servir el

sistema operatiu Windows.

- Entorn de programació senzill i clar: L'entorn de programació és molt intuïtiu i fàcil d'aprendre per als principiants. També és flexible per tal que els usuaris avançats el puguin aprofitar.
- Software lliure: Arduino disposa de la plataforma IDE (Entorn de desenvolupament integrat) que és un entorn de programació per crear aplicacions de tota mena per les plaques Arduino.

### 6.1.2. Família de sensors MQ

Els sensors de gasos MQ són un conjunt de dispositius fets per captar diversos components químics de l'aire. Proporcionen tant lectures analògiques com digitals. Les lectures analògiques proporcionen la concentració del gas mesurat en qüestió mentre que les lectures digitals ens indiquen la presència o no presència del gas. Aquesta família de sensors són sensors electroquímics és a dir que tenen una resistència en el seu interior que varia mitjançant una reacció electroquímica quan es detecta un gas. Tots els models MQ tenen un escalfador interior per tal que el sensor agafi la temperatura adient per començar a fer unes mesures fiables. El temps d'escalfament depèn de cada model i està indicat a la fulla de característiques.

La diferència entre els diferents models de sensors MQ és la sensibilitat als diferents gasos a mesurar. A continuació es mostra una taula amb els diferents sensors MQ i els gasos principals que poden captar.

Model	Gas detectat
MQ2	Gasos combustibles (metà, propà, hidrogen,...)
MQ3	Alcohol
MQ4	Alta sensibilitat metà i gas natural. Baixa sensibilitat a alcohol i fum de tabac.
MQ5	Alta sensibilitat a LPG, gas natural, gas ciutat. Baixa sensibilitat a alcohol i fum de tabac.

MQ6	Alta sensibilitat a LPG, iso-butà, propà. Baixa sensibilitat a alcohol i fum de tabac.
MQ7	Alta sensibilitat a monòxid de carboni
MQ8	Alta sensibilitat a hidrogen. Baixa sensibilitat a alcohol, LPG, fum de cuinar.
MQ9	Alta sensibilitat a monòxid de carboni, metà i LPG.
MQ131	Alta sensibilitat a ozó.
MQ135	NH <sub>4</sub> , NO <sub>x</sub> , alcohol, benzè, fum de tabac, CO <sub>2</sub> , etc.

### 6.1.3. Sensor MQ135

El sensor MQ135 s'utilitza en equips de control de qualitat d'aire interior com edificis, oficines, cuines, etc. Són adequats per la detecció de NH<sub>4</sub>, NO<sub>x</sub>, alcohol, benzè, fum, CO<sub>2</sub>, etc. Segons la fulla de característiques el sensor necessita un preescalfament d'unes 24 h per tal que les lectures siguin fiables. S'alimenta amb un voltatge de 5V. A la figura 6.2 es pot veure el sensor amb els diferents pins.

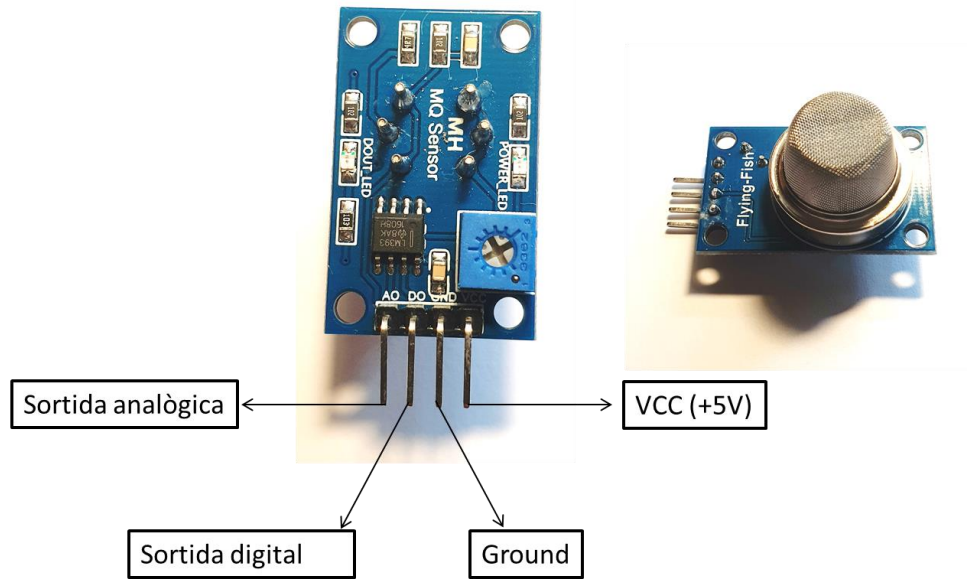


Figura 6.2 Sensor MQ135. (Font: pròpia)

El sensor pot donar tant lectures digitals com analògiques. En aquest treball només es fa servir la sortida analògica.

#### 6.1.4. LED i resistència

Es fa servir un LED de color vermell com a indicador quan se superi una certa concentració prèviament estipulada. El LED és de color vermell de 3 mm.



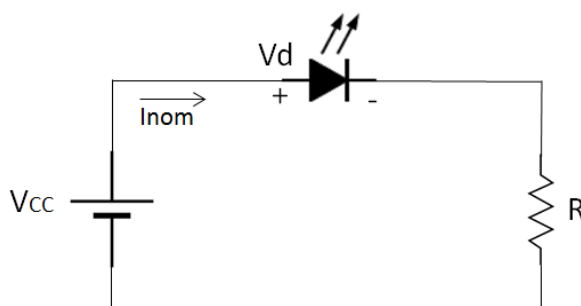
Figura 6.3 LED vermell (Font: [www.pccomponentes.com](http://www.pccomponentes.com))

Un LED és un díode emissor de llum, és a dir, un tipus particular de díode que emet llum quan l'entrevessa un corrent elèctric. El díode és un dispositiu electrònic passiu amb dos terminals, anomenats ànode A i càtode K, que actuen com a terminals principals. Està format per dos materials semiconductors dopats de diferent forma, l'ànode dopat amb

impureses acceptadores i el càtode amb impureses donadores. Aquesta diferència de dopat fa que es generi una barrera de potencial, que fa que el pas del corrent només sigui possible en un dels sentits. Aquest fet fa que s'hagi de connectar correctament el voltatge al LED. La pota llarga s'ha de connectar al voltatge positiu (ànode), i la pota curta al voltatge negatiu (càtode). El LED polaritzat de forma correcta emetrà llum per un cert valor de tensió anomenat tensió de polarització directa ( $V_d$ ). A partir d'aquesta tensió el díode està polaritzat i el corrent d'electrons el pot travessar lliurement.

Un cop se supera la tensió  $V_d$ , combinat amb que la resistència del LED és molt petita, es genera una intensitat molt elevada que podria destruir el LED. És per això que es necessita una resistència per limitar la quantitat de corrent que circula pel LED.

La resistència es pot calcular de la solució del circuit que es mostra en la figura 6.4.



*Figura 6.4 Circuit Resistència-LED (Font: pròpia)*

On  $V_{cc}$  és el voltatge d'alimentació,  $V_d$  el voltatge de polarització directa,  $I_{nom}$  és la intensitat nominal del LED que recorre el circuit i  $R$  és la resistència a calcular. Aplicant l'equació de malla al circuit es troba l'expressió de la resistència  $R$  (Eq.6.2).

$$V_{cc} = V_d + R \cdot I_{nom} \quad (\text{Eq.6.1})$$

$$R = \frac{V_{cc} - V_d}{I_{nom}} \quad (\text{Eq.6.2})$$

El valor de  $V_{cc}$  és conegut, ja que Arduino treballa amb 5V. Els valors de  $V_d$  i  $I_{nom}$  depenen del material i de la construcció interna del LED. Segons la fulla de característiques  $V_d=2,1V$  i  $I_{nom}=15mA$ .

Per tant aplicant la Eq.6.2, s'ha d'escollir una resistència igual o superior a 193,33 ohms. Com que les resistències comercials estan normalitzades, no hi ha una resistència amb aquest valor. S'escull una resistència normalitzada superior al valor calculat. El valor de  $R$

és de 330 ohms.

També s'ha posat un LED de color verd i la seva corresponent resistència que s'encén cada cop que s'escriu un valor de concentració al fitxer.

### 6.1.5. Lector de targetes micro SD i targeta micro SD

Per tal d'emmagatzemar totes les dades de les lectures del sensor es fa servir una targeta micro SD amb el seu corresponent lector de targetes micro SD per Arduino. Aquest lector és un dispositiu que permet utilitzar una targeta SD o micro SD per tal d'emmagatzemar tota la informació que es vulgui provinent del nostre muntatge electrònic (en el nostre cas del sensor). En projectes de tipus datalogger amb Arduino és molt habitual utilitzar aquests lectors de targetes, ja què et permet mantenir un registre de totes les dades. El lector de targetes té les següents característiques:

- Expansió fàcil i econòmica de l'espai d'emmagatzematge d'Arduino mitjançant la ranura SD.
- Comunicació fàcil amb l'Arduino a través del protocol SPI.
- Alimentació de 5V.
- Preu relativament barat depenent la marca escollida.

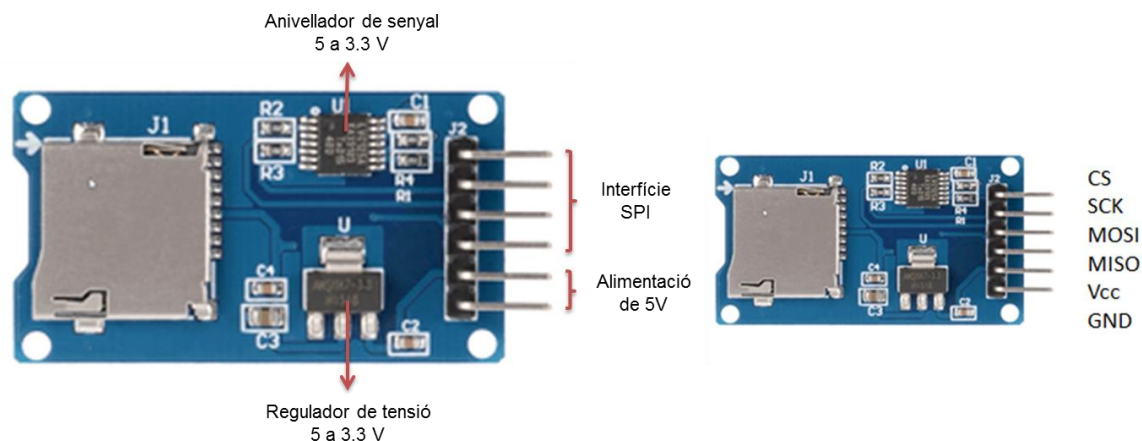
La figura 6.5 mostra el lector de targetes utilitzat.



*Figura 6.5 Lector de targetes micro SD. (Font: <https://leantec.es/>)*

La figura 6.6 mostra les diferents parts del lector de targetes.





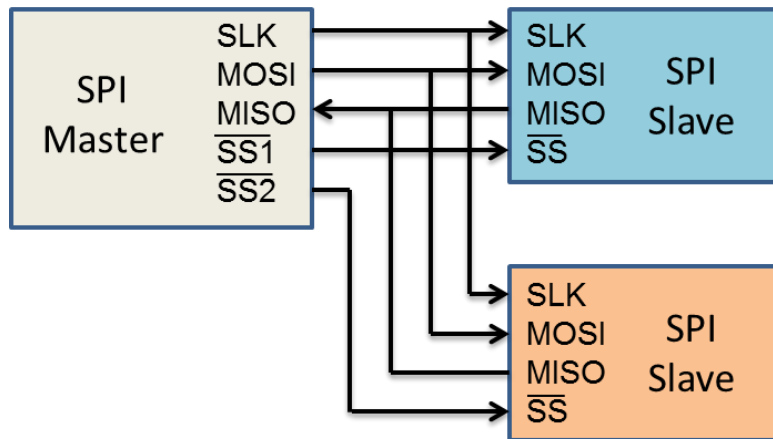
*Figura 6.6 Parts lector de targetes micro SD (Font: pròpia)*

El mòdul consta dels pins de connexió d'alimentació i connexió a Arduino mitjançant interfície sèrie SPI. La targeta de memòria funciona amb un voltatge de 3.3 V per tant sobre el circuit integrat del mòdul hi ha un regulador lineal de tensió de 5 a 3.3 V i un anivellador de senyal també de 5 a 3.3 V. D'aquesta manera es pot connectar de forma directa a Arduino amb alimentació de 5V sense cap problema. Els primers quatre pins de la part superior (vegeu figura 6.6) corresponen a la interfície SPI i els dos últims a l'alimentació. A continuació es fa una breu explicació a la comunicació sèrie mitjançant SPI (Serial Peripheral Interface).

El bus SPI és una forma de comunicació, usat principalment per la transferència d'informació entre circuits integrats. La interfície SPI té quatre connexions entre Arduino que pren el rol de mestre i un (o més) dispositiu esclau com per exemple el lector de targetes micro SD. La nomenclatura que s'utilitza és la següent:

- MOSI: Master Out Slave In, indica el sentit de circulació de les dades que surten del mestre i ingressen en l'esclau.
- MISO: Master In Slave Out, indica el sentit de circulació de les dades que surten de l'esclau i ingressen en el mestre.
- SCK: Serial Clock, genera els polsos de rellotge per la sincronització de les dades entre mestre i esclau.
- SS: Slave Select, permet habilitar als dispositius esclaus.

EL bus SPI permet encadenar múltiples dispositius compartint les mateixes línies MOSI, MISO, SCK, però cada esclau ha de ser seleccionat de forma independent amb una línia dedicada de SS. La figura 6.7 mostra les connexions entre el mestre i els esclaus.



*Figura 6.7 Connexió SPI (Font: pròpia)*

Pel que fa a la targeta de memòria s'ha escollit una targeta micro SD de 16GB, memòria més que suficient per emmagatzemar les dades del sensor.

#### 6.1.6. Alimentació

Arduino es pot alimentar de diverses formes. La més habitual quan es comença a experimentar amb Arduino és via connexió USB a l'ordinador. El port USB de l'ordinador proporciona a Arduino un voltatge estable de 5V i una intensitat màxima de 500mA. El fet de tenir tot el sistema alimentat via connexió USB a l'ordinador fa que aquest hagi d'estar endollat a la presa de corrent per tal que no se l'hi acabi la bateria.

Com que el muntatge és del tipus datalogger, és a dir, que s'han d'emmagatzemar dades de concentració de gasos contínuament durant un cert interval de temps, combinat amb què el sensor MQ135 utilitzat necessita un preescalfament de 24 h per començar a fer les mesures, fa que el temps en què el sistema ha d'estar alimentat sigui considerablement gran. És per aquests motius que s'ha decidit utilitzar un adaptador de corrent DC regulable.

S'alimenta la placa Arduino pel connector jack que admet uns voltatges d'entre 7 i 12V. La figura 6.8 mostra l'adaptador de corrent utilitzat. Està regulat a 7.5V.



*Figura 6.8 Adaptador de corrent (Font: pròpia)*

## 6.2. Muntatge amb Raspberry Pi 3 model b “Alarma sensor”

### 6.2.1. Placa Raspberry Pi 3 model b

Per fer un segon banc d'experiments i aplicacions més potents la placa Raspberry Pi 3 és ideal. Aquesta placa és un petit ordinador amb tots els seus elements visibles i de la mida semblant a la d'un Arduino. És un ordinador de placa i de baix cost desenvolupat al Regne Unit per la Raspberry Pi Foundation. La fundació manté el control del hardware però el software és de codi obert.

Característiques i avantatges de Raspberry Pi 3

- Broadcom BCM2837 chipset funcionant a 1,2 GHz
- Processador 64 bits de quatre nuclis ARM Cortex-A53
- 802.11 b / g / n Wi-Fi
- Bluetooth 4.1 (Classic i baixa energia)
- Doble nucli VideoCore IV ® Multimèdia coprocessador
- 1 GB de memòria LPDDR2

- Compatible amb totes les últimes ARM GNU / Linux i Windows distribucions de 10 IO
- Connector micro USB per a una font d'alimentació 2.5A.
- 1 port Ethernet 10/100
- 1 x connector HDMI de vídeo / àudio
- 1 x connector RCA de vídeo / àudio
- 4 x ports USB 2.0
- 40 pins GPIO
- Xip antena
- Connector de la pantalla DSI
- Ranura per a targetes microSD
- Dimensions: 85 x 56 x 17 mm

La figura 6.9 mostra la distribució de pins GPIO de la placa Raspberry Pi 3 model b.

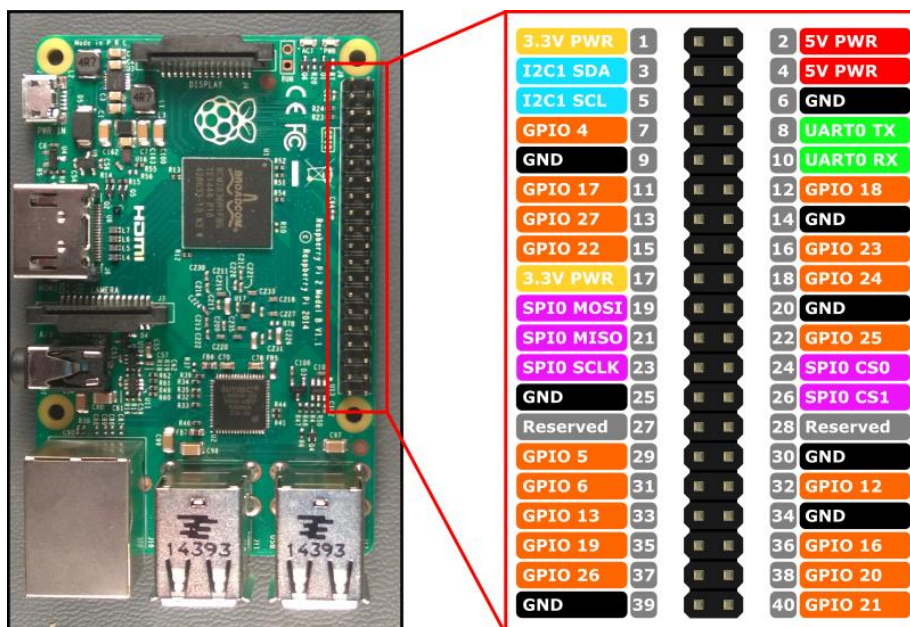
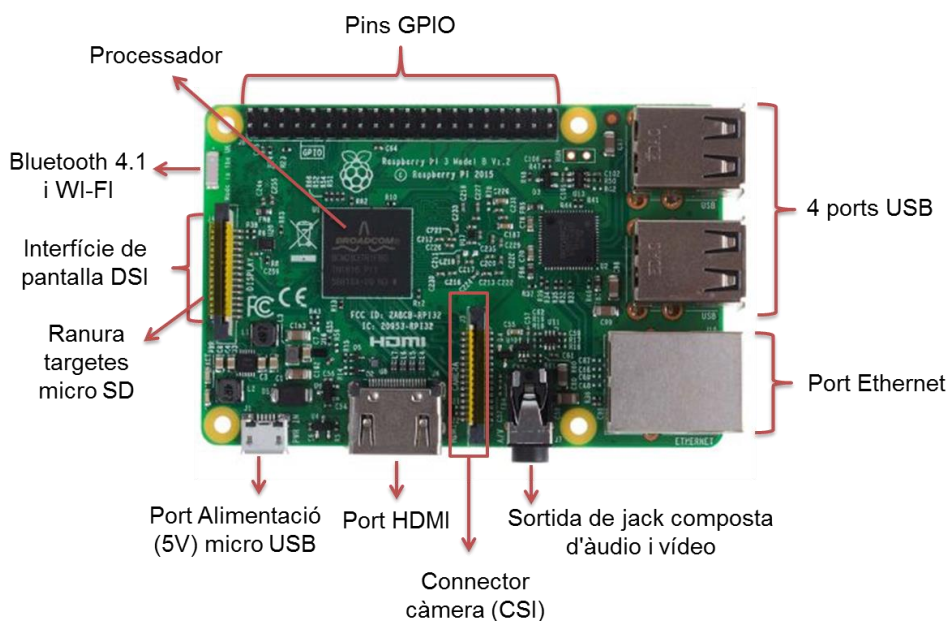


Figura 6.9 Pins GPIO Raspberry Pi 3 model b (Font: <https://www.prometec.net/>)

La placa té un total de 40 pins GPIO. Es subdivideixen en grups segons la seva funció.

- Groc: alimentació a 3.3V.
- Vermell: alimentació a 5V.
- Taronja: entrades/sortides de propòsit general. Poden configurar-se com entrades o com a sortides. El voltatge que suporten és de 3.3V. Això vol dir que les sortides estan fixades de 3.3V i les entrades toleren 3.3V.
- Gris: pins reservats.
- Negres: 8 connexions a terra o massa (GND).
- Verd: pins de connexió per UART per port sèrie convencional.
- Blau: pins de comunicació amb perifèrics mitjançant el protocol I2C.
- Lila: pins de comunicació amb perifèrics mitjançant el protocol SPI.

La figura 6.10 mostra les diferents parts de la placa Raspberry Pi 3 model b.



*Figura 6.10 Parts placa Raspberry Pi 3 model b (Font: pròpia)*

S'ha escollit aquesta placa per fer un segon banc d'experiments. La principal raó per la qual s'ha escollit aquesta placa és que es vol construir un sistema que permeti la comunicació bidireccional entre el muntatge electrònic i l'usuari. Aquesta comunicació es pot fer



mitjançant connexió WI-FI i algunes de les plataformes de comunicació existents en el mercat, com per exemple Telegram. La placa Raspberry Pi 3 proporciona totes aquestes prestacions, fet que la fa una placa ideal per tal de realitzar el propòsit.

### 6.2.2. Sensor MQ135

S'utilitza el mateix sensor que en el muntatge amb Arduino. El calibrat és el mateix.

### 6.2.3. Convertidor Analògic-digital: MCP3008

Els pins GPIO de la placa Raspberry Pi són digitals. A diferència de la placa Arduino UNO, la placa Raspberry Pi no té pins analògics. El sensor MQ135 té una sortida analògica i una digital. Com que es vol saber el valor de la concentració dels gasos es fa servir la sortida analògica. Per tant per fer la connexió entre la placa raspberry pi i el sensor MQ135 es necessita un convertidor analògic-digital. El convertidor que s'ha escollit és el MCP3008, ja que és compatible amb Raspberry Pi i és fàcil d'utilitzar. Aquest xip ofereix vuit canals d'entrada analògica de 10 bits de resolució. Utilitza el protocol SPI, protocol que també utilitza la placa Raspberry Pi. La figura 6.11 mostra el xip MCP3008 i la seva distribució de pins.

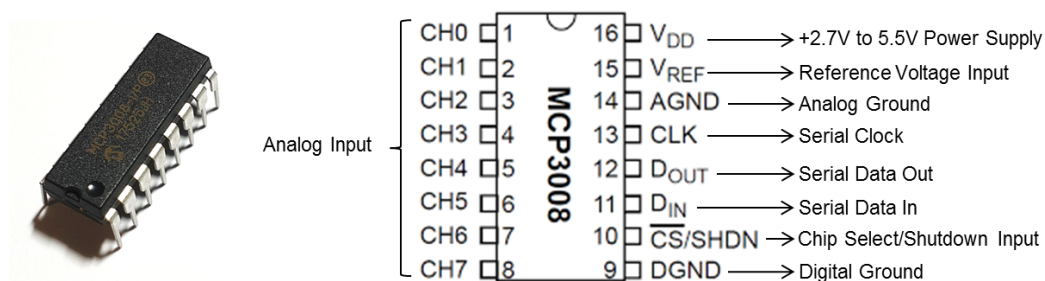


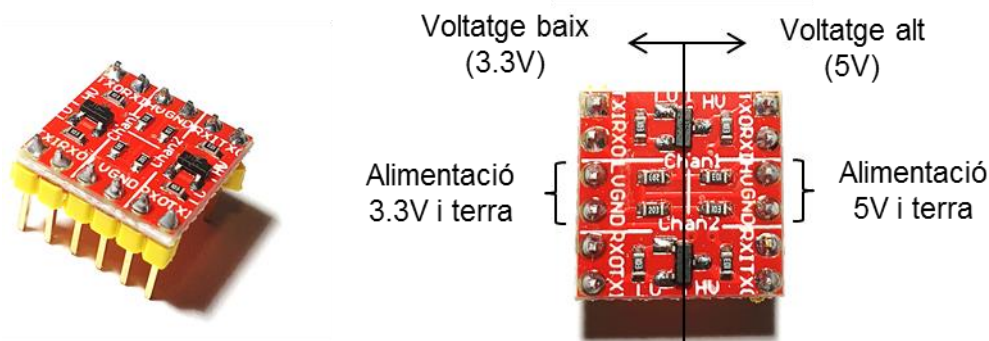
Figura 6.11 Xip MCP3008 (Font: pròpia)

### 6.2.4. Convertidor de nivells lògics bidireccional de 3.3V a 5V

Els pins de propòsit general (GPIO) de la placa Raspberry Pi 3 suporten un voltatge de 3.3V. El sensor MQ135 s'alimenta a un voltatge de 5V. Per connectar sensor i placa es necessita el mateix voltatge d'operació. És per això, que es necessita un convertidor de nivells lògics de 3.3V a 5V o a l'inrevés.

Un convertidor de nivells lògics bidireccional és un petit dispositiu capaç de disminuir un

senyal alt de 5V a 3.3V i també permet augmentar un senyal baix de 3.3V a 5V. S'ha escollit el chip "BSS138 convertidor lògic bidireccional 3.3V-5V", ja que és compatible amb la placa Raspberry Pi i també és fàcil d'usar. La figura 6.12 mostra el convertidor de nivells lògics.



*Figura 6.12 Convertidor de nivells lògics (Font: pròpia)*

El xip està dividit en dues parts. La part de la dreta correspon al voltatge alt (5V) i la part de l'esquerra correspon al voltatge baix (3.3V). S'ha d'alimentar pels dos costats amb els voltatges corresponents i també s'ha de connectar a terra pels dos costats. Disposa de dos canals per augmentar o disminuir la tensió. El xip que utilitza el convertidor és el BSS138.

#### **6.2.5. Cable de connexió a Ethernet i cable d'alimentació**

Es necessita un cable de connexió Ethernet, ja que és la forma estandarditzada per poder connectar ordinadors entre si a través d'una xarxa per poder transmetre les dades d'un ordinador a un altre. En aquest cas tenim la placa Raspberry Pi 3 model b que en si és un ordinador que es connecta mitjançant el cable Ethernet a un portàtil per poder obrir una sessió remota i poder treballar. En aquest cas el portàtil només fa la funció de teclat i pantalla.

La placa Raspberry Pi 3 model b s'alimenta mitjançant un carregador micro USB de 2.5A i 5.1V.

## 6.3. Materials comuns

### 6.3.1. Protoboard

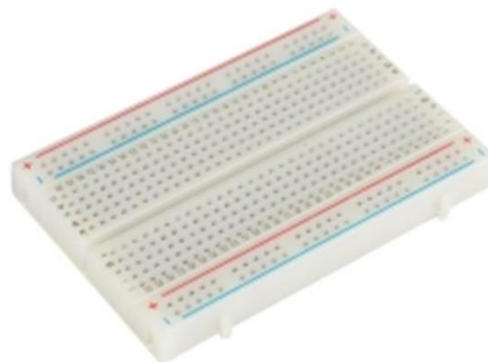
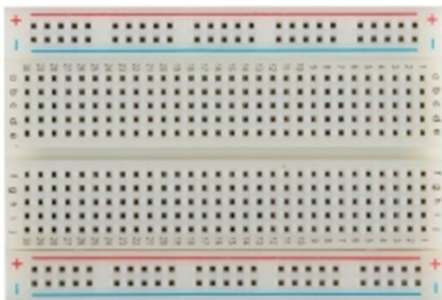
La protoboard utilitzada és relativament petita comparada amb altres protoboards del mercat. Té unes dimensions de 82x55x8 mm. S'ha escollit d'aquesta mida, ja que tots els components i caben i així no ocupa tant d'espai.

En total té 400 contactes repartits de la següent manera:

- Part central: 2 columnes de 5 x 30 contactes separats per un canal de 2 mm.
- Bus: 2 busos de 25 contactes repartits en 4 files.

La tensió i intensitat màxima que suporta és de 30V i 3A respectivament.

La figura 6.13 mostra la placa board.

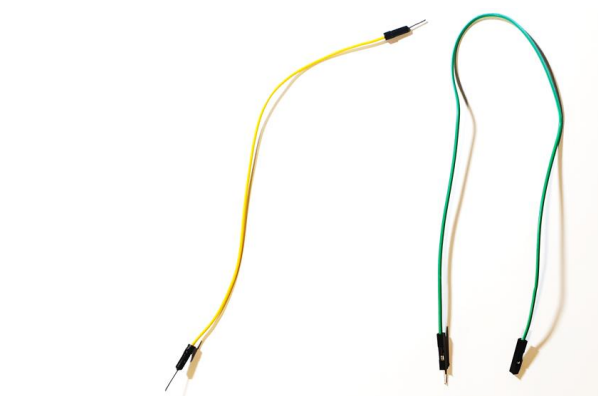


*Figura 6.13 Protoboard 400 punts (Font: diotronic)*

### 6.3.2. Cables de connexió

Per fer les connexions entre els components de la placa board s'utilitzen cables pont mascle-mascle. Per fe algunes connexions entre els pins de les plaques i la protoboard s'utilitzen cables de pont mascle-femella.





*Figura 6.14 Cables pont (Font: pròpia)*

## 7. Càlcul de la concentració de CO<sub>2</sub> en ppm

### 7.1. Calibració del sensor MQ135 (per CO<sub>2</sub>)

De la fulla de característiques del sensor MQ135 es pot extreure el gràfic de característiques sensibles del sensor (figura 7.1). És un gràfic logarítmic i cada corba correspon a un gas diferent tal com es pot veure a la llegenda. Per fer tots els càlculs i la calibració s'ha escollit la corba del gas CO<sub>2</sub>. Per qualsevol altre gas el procediment és anàleg. La corba segueix l'equació 7.1.

$$\log(y) = m \cdot \log(x) + c \quad (\text{Eq. 7.1})$$

On la  $x$  és el valor de la concentració de CO<sub>2</sub> en ppm i  $y$  és el ràtio  $R_S/R_O$ . El paràmetre  $m$  és el valor de el pendent i el paràmetre  $c$  és el tall de la corba amb l'eix d'ordenades.  $R_S$  és la resistència del sensor per a varies concentracions de gasos mentre que  $R_O$  és un paràmetre constant que serveix per calibrar el sensor segons el gas que es vol captar. Els valors de  $m$  i  $c$  es poden trobar fàcilment agafant dos punts de la corba de CO<sub>2</sub> ( $X_1, Y_1, X_2, Y_2$ ). Les següents equacions mostren el procediment per trobar  $m$  i  $c$ .

$$\log(Y_1) = m \cdot \log(X_1) + c \quad (\text{Eq. 7.2})$$

$$\log(Y_2) = m \cdot \log(X_2) + c \quad (\text{Eq. 7.3})$$

Restant la Eq. 7.2 de la Eq. 7.3 queda la Eq. 7.4 d'on es pot extreure el valor del paràmetre  $m$  (Eq.7.5).

$$\log(Y_1) - \log(Y_2) = m \cdot (\log(X_1) - \log(X_2)) \quad (\text{Eq. 7.4})$$

$$m = \frac{\log(Y_1) - \log(Y_2)}{\log(X_1) - \log(X_2)} \quad (\text{Eq. 7.5})$$

Un cop trobat  $m$ , el paràmetre  $c$  es pot trobar aïllant-lo de la Eq. 7.2 o Eq.7.3.

$$c = \log(Y_1) - m \cdot \log(X_1) \quad (\text{Eq. 7.6})$$

Els valors de  $m$  i  $c$  són -0,370955166 i 0,7597917824 respectivament.

Per calibrar el sensor és necessari trobar el valor de  $R_O$ . Aquest es troba imposant a l'Eq.7.1 una concentració coneguda del gas en qüestió que es vol mesurar. En el cas del

CO<sub>2</sub>, en un aire interior net interior la concentració és aproximadament de 400ppm. L'Eq. 7.7 mostra la relació entre R<sub>S</sub> i R<sub>O</sub> amb una concentració de CO<sub>2</sub> fixada de 400ppm.

$$\frac{R_S}{R_O} = 10^{(m \cdot \log(400) + c)} = 0,6230805382 \quad (\text{Eq. 7.7})$$

Per trobar el valor de R<sub>O</sub> només fa falta posar el sensor en funcionament i mesurar la resistència R<sub>S</sub> del sensor en un entorn amb aire interior net. Un cop trobat aquest valor, de l'Eq. 7.7 s'aïlla el valor de R<sub>O</sub>. Aquest procediment de calibració s'ha fet deixant el sensor alimentat durant més de 24 hores per fer l'escalfament previ a fer les mesures, tal com indica la fulla de característiques del sensor. Un cop passat aquest preescalfament s'ha fet la calibració. Per tal que el valor de R<sub>O</sub> sigui constant cada vegada que s'executi el programa per primera vegada, el sensor ha d'haver estat escalfat durant unes 24 h. Si no s'escalfa aquest temps, el valor de R<sub>O</sub> varia i la calibració estaria mal feta. Dit això el valor de R<sub>O</sub> és de 179303 ohms.

Un cop trobats tots els paràmetres de l'Eq. 7.1 s'aïlla la x per trobar el valor de la concentració en ppm.

$$ppm = 10^{\frac{(\log(R_S / R_O) - c)}{m}} \quad (\text{Eq.7.8})$$

On en valor de R<sub>S</sub> és el valor que va variant segons la quantitat de CO<sub>2</sub> que hi ha a l'ambient on s'estan fent les mesures.

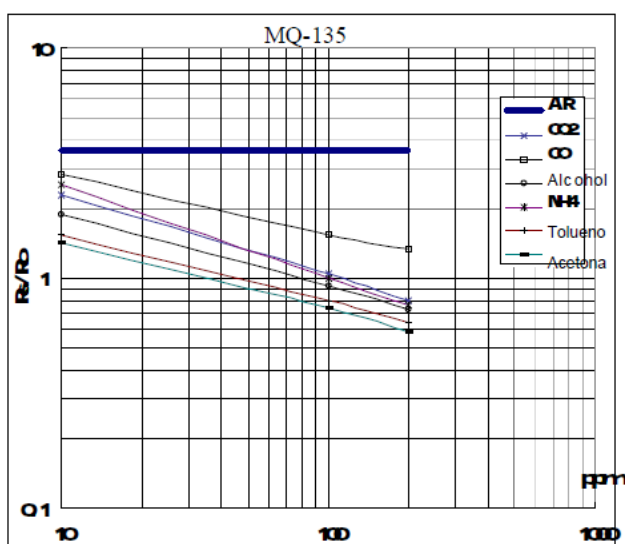


Figura 7.1 Corba de sensibilitat de gasos sensor MQ135 (Font: datasheet)

## 7.2. Càlculs per trobar el valor de RS

De la fulla de característiques s'extreu el circuit del sensor MQ135 tal com s'observa a la figura 7.2. La sortida és la caiguda de tensió a la resistència  $R_L$  ( $V_{RL}$ ). La resistència total ( $R_T$ ) és la suma de la  $R_L$  i de la resistència del sensor  $R_S$ . L'alimentació del sensor és  $V_{CC}$  que són 5V. De l'estudi del circuit es dedueixen les següents equacions:

$$V_{RL} = \frac{V_{CC} \cdot R_L}{R_T} \quad (\text{Eq. 7.9})$$

$$R_T = R_S + R_L \quad (\text{Eq. 7.10})$$

$$R_S = \frac{V_{CC} \cdot R_L}{V_{RL}} - R_L \quad (\text{Eq. 7.11})$$

On finalment el valor que interessa és el valor de  $R_S$ , ja que posteriorment s'introdueix a l'Eq. 7.8 per trobar la concentració de  $\text{CO}_2$  en ppm.

El valor de la resistència  $R_L$  és de 20K $\Omega$  segons la fulla de característiques. És una resistència que es pot ajustar fent girar amb un tornavís petit el potenciòmetre que hi ha a la part posterior del sensor. Per saber el valor d'aquesta resistència, és mesura amb un multímetre. El seu valor és de 32859 ohms.

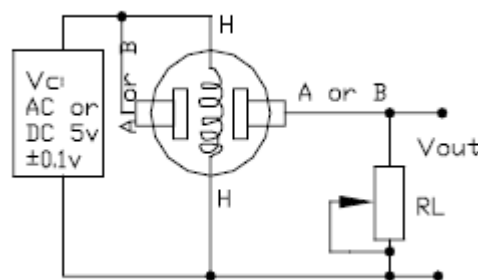


Figura 7.2 Circuit sensor MQ135 (Font: datasheet)

## 8. Entorn de programació

### 8.1. Muntatge “datalogger”

#### 8.1.1. Arduino software (IDE)

IDE en anglès (integrated development environment) és un entorn de programació empaquetat com un programa d'aplicació, és a dir, que consisteix en un editor de codi, un compilador, un depurador i un constructor d'interfase gràfica. Des de l'editor de codi es pot escriure un programa informàtic i enviar-lo a la placa Arduino. El software és gratuït i es pot descarregar des de la pàgina web oficial d'Arduino. La pantalla principal de l'aplicació és la que es mostra en la figura 8.1.



*Figura 8.1 Entorn de programació Arduino (Font: pròpia)*

És un entorn de desenvolupament molt intuïtiu i fàcil de fer servir.

A la part superior dreta de la pantalla hi ha una icona corresponent al monitor serial, que és una pantalla que permet comunicar-se amb la placa. Permet tant enviar com rebre dades de la placa Arduino.

El llenguatge de programació d'Arduino està basat en C++.

### 8.1.2. Estructura del programa bàsica

L'estructura bàsica d'un programa desenvolupat amb el software d'Arduino (IDE) es basa en dues parts principals: setup i loop. El setup compren la preparació del programa i el loop és l'execució. La funció setup() s'executa un sol cop a l'inici del programa i és on es fa la inicialització de les variables. És on es defineix l'estat inicial del programa. La funció loop() inclou el codi principal que s'executa de forma contínua. Cada instrucció del programa acaba amb punt i coma i els comentaris s'indiquen amb doble barra //. La figura 8.2 mostra un exemple de l'estructura bàsica del codi. El codi és per encendre i apagar un LED.

```
const int ledPIN = 7; // pin digital 7

void setup() {
  Serial.begin(9600);    //iniciar port serie
  pinMode(ledPIN , OUTPUT); //definir pin com a sortida
}

void loop(){
  digitalWrite(ledPIN , HIGH);    // Encendre el LED
  delay(1000);                    // esperar un segon
  digitalWrite(ledPIN , LOW);     // Apagar el LED
  delay(1000);                    // esperar un segon
}
```

*Figura 8.2 Codi per encendre i apagar un LED (Font: pròpia)*

A dins de la funció setup() es posa la funció Serial.begin() que estableix la velocitat de dades en bits per segon per la transmissió de dades en sèrie.

### 8.1.3. Escriptura d'un fitxer (Datalogger)

Hi ha un conjunt d'instruccions que es fan servir en el codi del programa per tal d'escriure en un fitxer totes les dades de concentració del gas que estigui captant el sensor MQ135. Aquest fitxer es guarda en una targeta de memòria micro SD i el mòdul d'unió entre la targeta i el sensor és el lector de targetes micro SD. Les línies de codi referents a l'escriptura d'un fitxer són les següents:

include <SPI.h> : inclou la llibreria de la interfície SPI.

include <SD.h> : inclou la llibreria per targetes SD.

#define SSpin 10 : Slave Select en el pin digital 10.

File archivo : objecte archivo del tipus File.

SD.begin(SSpin) : inicialització de la targeta SD.

archivo = SD.open("datos.txt", FILE\_WRITE) : obertura d'un nou arxiu a la targeta SD. El primer paràmetre de la funció és el nom de l'arxiu i l'argument és FILE\_WRITE permet llegir i escriure en l'arxiu "datos.txt".

archivo.print(" ppm CO2 = "): escriu en el fitxer "datos.txt" el string "ppm CO2 =".

archivo.println(ppm\_co2): escriu en el fitxer "datos.txt" el valor de la concentració de CO<sub>2</sub> en ppm calculat en les línies de codi anteriors. Seguidament es fa un salt de línia. Es va seguint aquest patró i es van escrivint els valors de concentració de CO<sub>2</sub> un en cada línia del fitxer "datos.txt". Alternativament a aquesta funció també es pot fer servir archivo.write().

archivo.close() : es tanca el fitxer "datos.txt".

## 8.2. Muntatge "Alarma sensor"

### 8.2.1. Raspberry Pi Software

Hi ha diferents softwares per instal·lar a la placa Raspberry Pi. S'ha escollit el sistema operatiu Raspbian. Aquest sistema operatiu és gratuït i es pot descarregar de la pàgina web oficial de Raspberry (<https://www.raspberrypi.org/downloads/>).

### 8.2.2. Instal·lació de Telegram a la Raspberry Pi

Per instal·lar l'aplicació Telegram dins de la placa Raspberry Pi s'ha consultat la pàgina web (<http://www.instructables.com/id/Telegram-on-Raspberry-Pi/>), on hi ha les instruccions pas a pas de com instal·lar el client de Telegram. Telegram queda instal·lat en el directori /home/pi/tg. Un cop instal·lat Telegram, s'ha d'executar el client de Telegram. A dins del directori "tg" s'introdueix la següent instrucció: "bin/telegram-cli -k tg-server.pub -W". La primera vegada que s'inicia Telegram s'ha d'introduir el número de telèfon (inclòs el codi de país, que per a Espanya és de +34). El número de telèfon que s'ha introduït és d'un membre de la meua família. Es rep en aquest número un missatge de text amb un codi, el qual s'ha d'introduir i després prémer "Entrar". En aquest punt ja està tot configurat per enviar i rebre missatges.

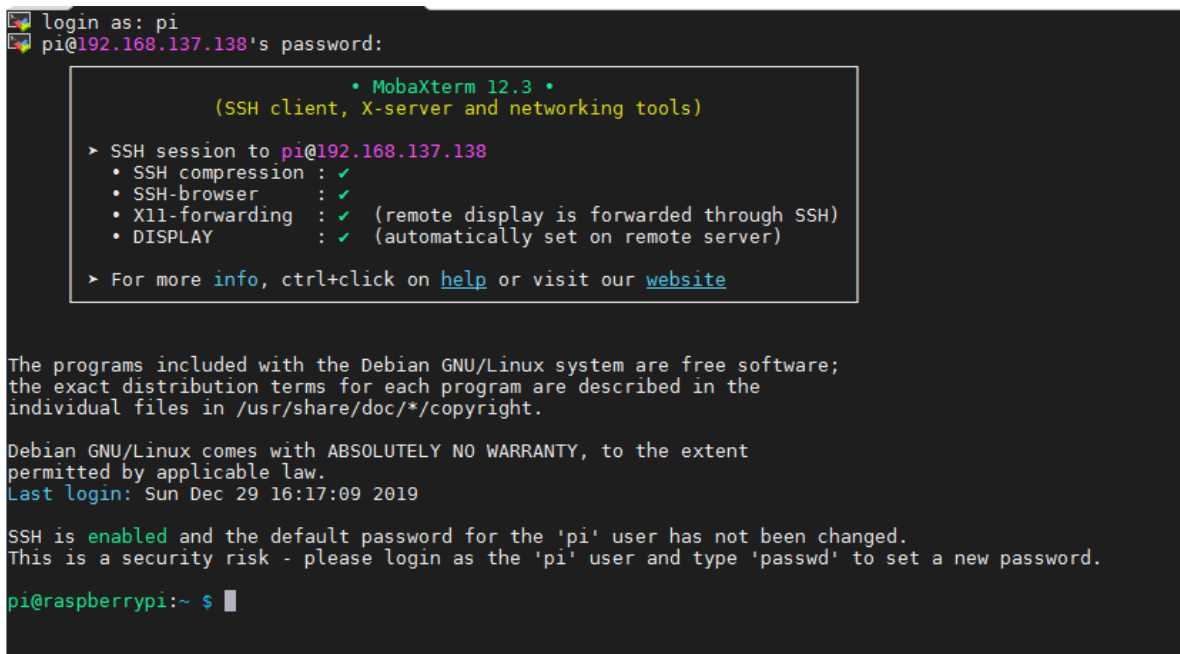
### 8.2.3. Connexió de la placa Raspberry Pi a l'ordinador portàtil

Per tal de poder treballar amb la placa Raspberry Pi es necessita un teclat i una pantalla.

Aquests poden anar connectats directament a través dels ports USB i HDMI. S'ha vist convenient no comprar el teclat i una pantalla, ja que es pot utilitzar un portàtil (ja en tinc un) que faci aquestes funcions. Mitjançant el cable Ethernet es connecta la placa Raspberry Pi a l'ordinador portàtil. Aquest llavors, només fa la funció de teclat i pantalla.

Per tal de connectar la placa Raspberry Pi a l'ordinador es fan els següents passos:

- Trobar la IP de la placa Raspberry Pi. S'utilitza el programa "Advanced IP Scanner"
- Obrir una sessió remota SSH de la placa Raspberry Pi. S'utilitza el programa MobaXterm. Aquest et demana la IP de la placa que s'ha trobat al primer punt, i també un usuari i una contrasenya.



```
login as: pi
pi@192.168.137.138's password:

      • MobaXterm 12.3 •
      (SSH client, X-server and networking tools)

> SSH session to pi@192.168.137.138
  • SSH compression : ✓
  • SSH-browser      : ✓
  • X11-forwarding   : ✓ (remote display is forwarded through SSH)
  • DISPLAY          : ✓ (automatically set on remote server)

> For more info, ctrl+click on help or visit our website

The programs included with the Debian GNU/Linux system are free software;
the exact distribution terms for each program are described in the
individual files in /usr/share/doc/*/copyright.

Debian GNU/Linux comes with ABSOLUTELY NO WARRANTY, to the extent
permitted by applicable law.
Last login: Sun Dec 29 16:17:09 2019

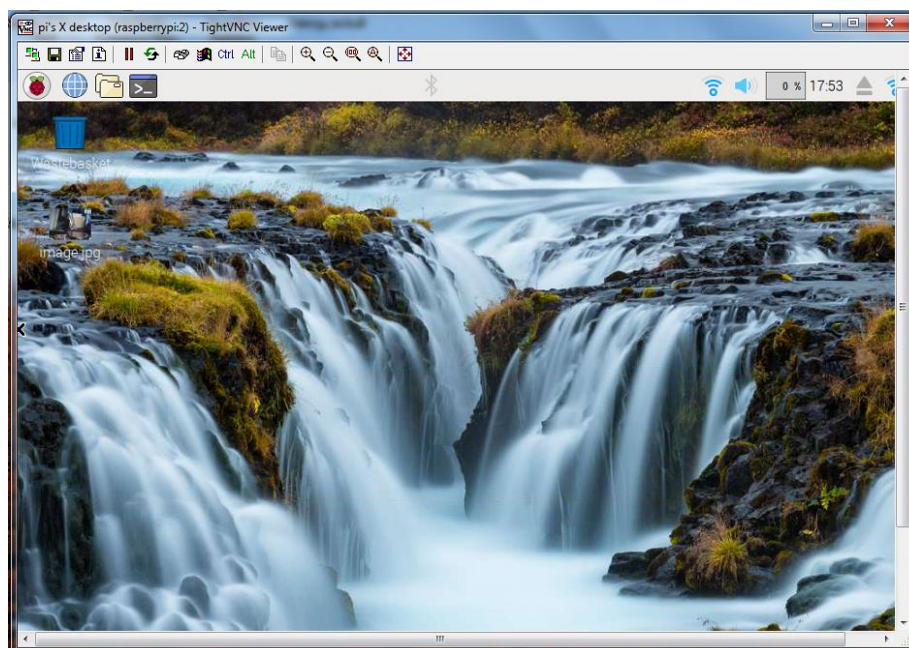
SSH is enabled and the default password for the 'pi' user has not been changed.
This is a security risk - please login as the 'pi' user and type 'passwd' to set a new password.

pi@raspberrypi:~ $
```

*Figura 8.3 Sessió remota SSH (Font: pròpia)*

- Obrir un entorn gràfic per treballar. Per això cal utilitzar la comanda tightvncserver per habilitar "TightVNC viewer" programa que s'utilitza per mostrar l'entorn gràfic. Quan s'obra el programa, et demana la IP i la contrasenya. La figura 8.4 mostra l'entorn de treball.





*Figura 8.4 Entorn gràfic de treball (Font: pròpia)*

## 9. Muntatge amb Arduino “Datalogger”

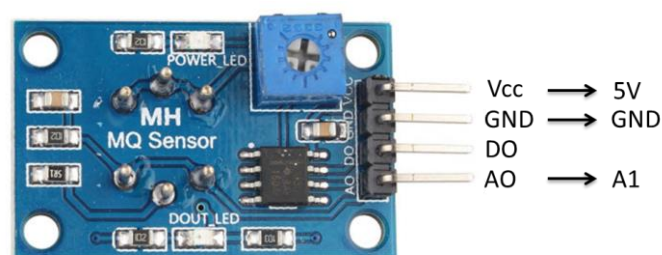
### 9.1. Propòsit

El propòsit d'aquest muntatge és mesurar la concentració d'un gas a l'interior d'un recinte tancat. Totes les dades de concentració s'emmagatzemen en una targeta micro SD i posteriorment s'analitzen per tal de veure'n l'evolució. L'usuari que es trobi en el recinte tancat no pot saber les dades fins un cop acabat la mesura. Sí que sabrà si es passa d'un cert valor de concentració que sigui perjudicial per a la salut, ja que, si això passa s'encendrà un LED de color vermell.

### 9.2. Connexions

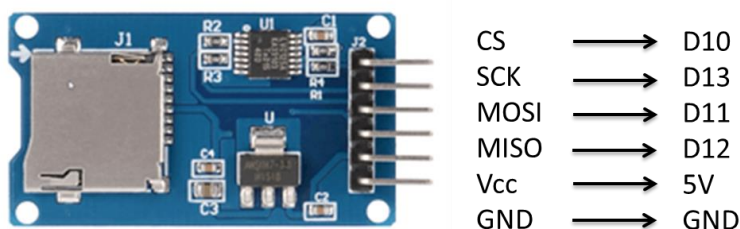
A continuació es mostren els diferents components del circuit amb els noms dels pins i amb les seves connexions amb els pins de la placa Arduino UNO.

- Sensor MQ135:



*Figura 9.1 Sensor MQ135 (Font: pròpia)*

- Lector de targetes micro SD:



*Figura 9.2 Lector de targetes micro SD (Font: pròpia)*

- LED vermell:

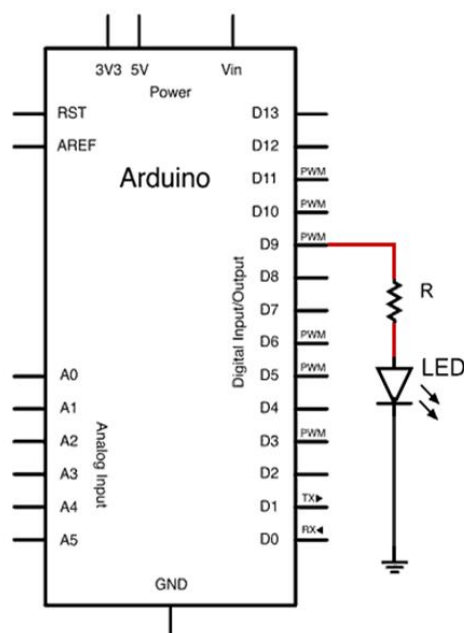


Figura 9.3 Connexió LED vermell (Font: <https://www.luisllamas.es/>)

- LED verd:

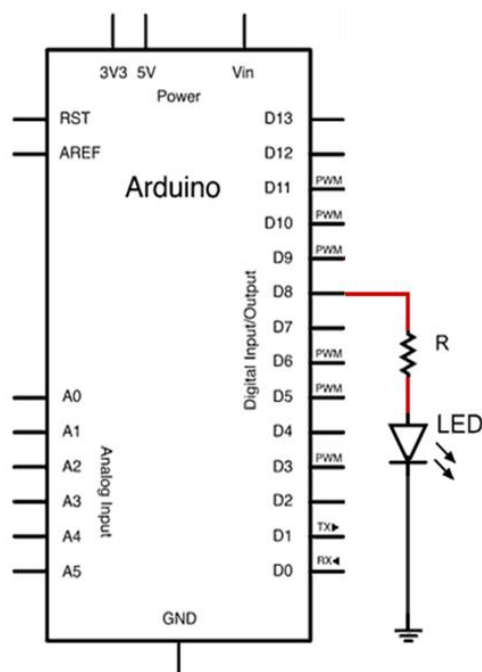
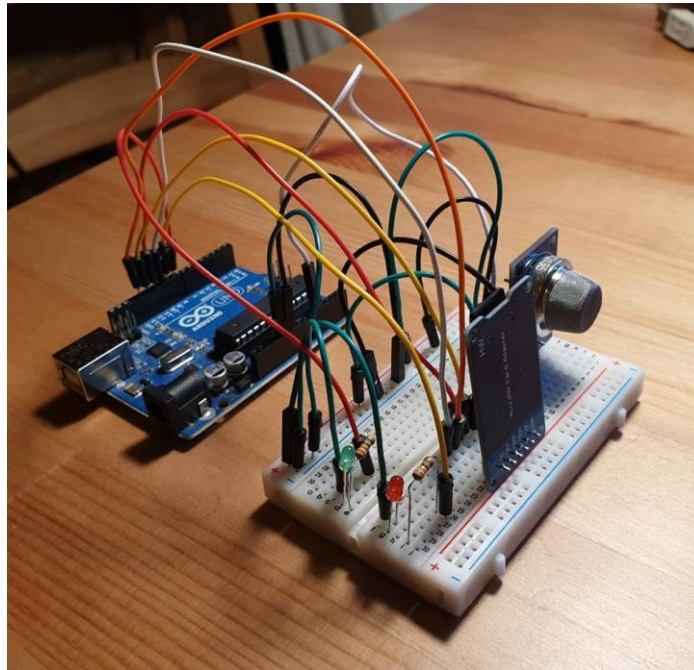


Figura 9.4 Connexió LED verd (Font: <https://www.luisllamas.es/>)

La figura 9.5 mostra totes les connexions.

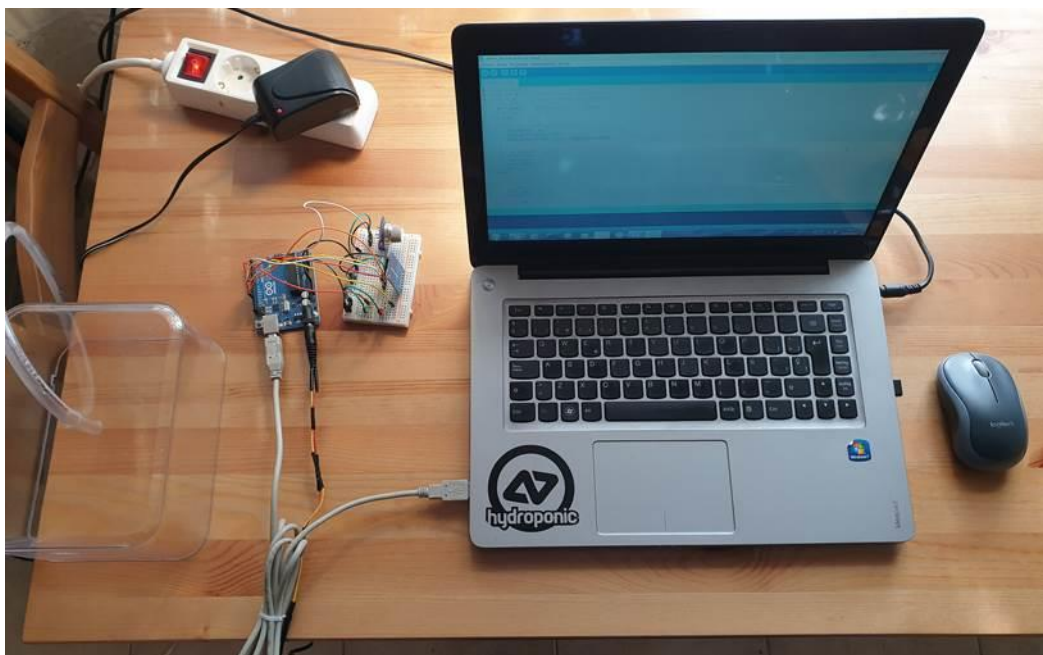


*Figura 9.5 Muntatge sistema datalogger (Font: pròpia)*

### 9.3. Experimentació, validació i primers resultats

El primer experiment que s'ha realitzat consisteix en el mesuratge de la concentració de  $\text{CO}_2$  en ppm en un recinte tancat. El recinte tancat consisteix en una capsa de plàstic dur transparent amb un forat i un tub per introduir  $\text{CO}_2$ . La capsa serveix per simular un recinte tancat real, com per exemple una sala de reunions, una classe d'una escola, etc, on hi ha un nombre considerable de persones realitzant una activitat determinada, al mateix temps que el recinte va acumulant  $\text{CO}_2$  procedent majoritàriament de la pròpia respiració de les persones. El recinte és totalment estanc.

El rang de concentracions de  $\text{CO}_2$  en interiors és habitualment de 350-800 ppm. El valor màxim recomanat per interiors és de 1000 ppm . Per tal de controlar aquest valor límit, el muntatge disposa d'un indicador, un LED vermell que s'encén quan la concentració de  $\text{CO}_2$  sobrepassa el valor límit. Tots els valors de concentració s'emmagatzemen en un fitxer. Cada cop que un valor s'escriu en el fitxer, un LED verd s'encén. La imatge 9.6 mostra el sistema muntat.



*Figura 9.6 Muntatge Datalogger (Font: pròpia)*

A través del port USB de la placa Arduino, aquesta es connecta amb l'ordinador. Des de l'entorn de programació s'envia el programa informàtic a l'Arduino i el sensor comença a mesurar concentracions. Només s'ha d'enviar un cop el programa. Un cop enviat, ja es pot desconnectar el cable USB de l'ordinador i de la placa Arduino i deixar el sistema alimentat amb l'adaptador de corrent. El programa es queda guardat a la memòria interna de la placa Arduino. Si es vol tornar a fer mesures, només cal fer un reset a la placa Arduino o treure i tornar a posar l'alimentació.

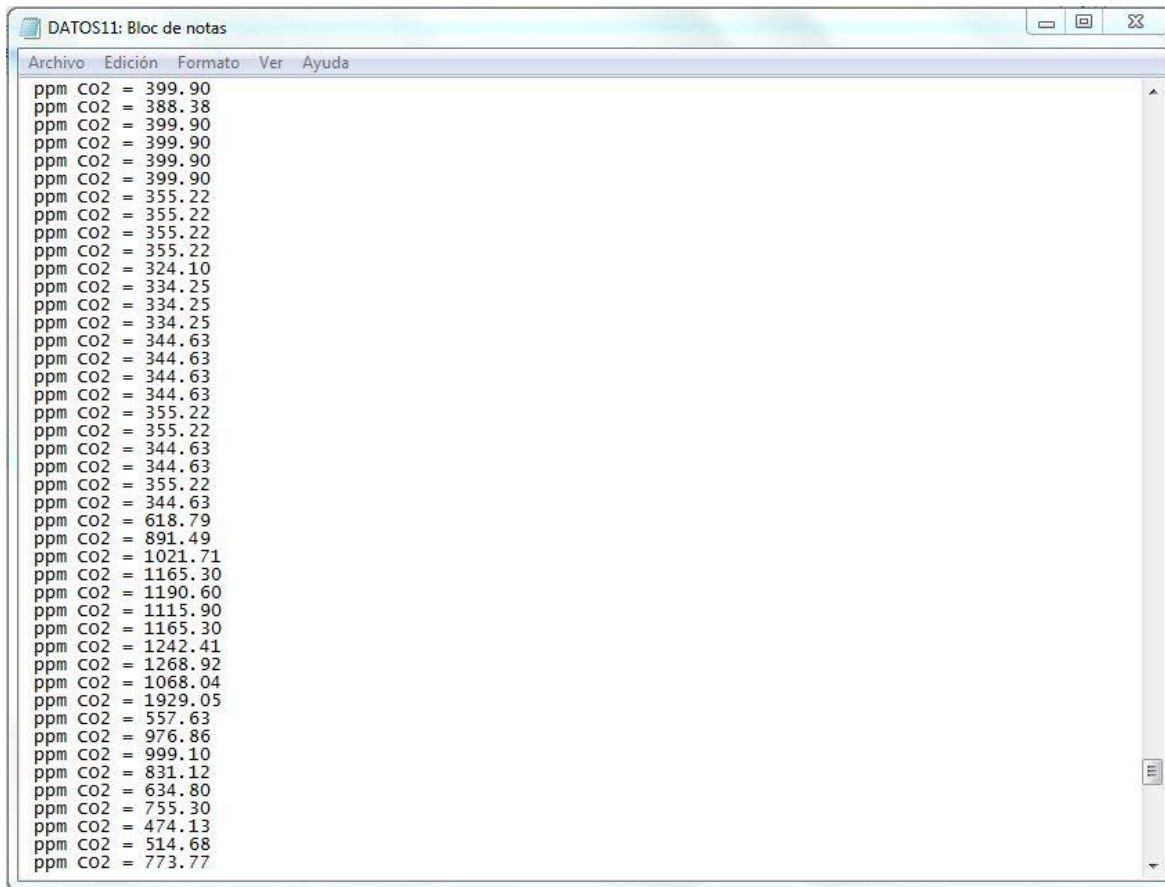
Com ja s'ha explicat en punts anteriors, el sensor MQ135 dona com a sortida el voltatge de la resistència  $R_L$  ( $V_{RL}$ ). A partir d'aquest voltatge i amb les fórmules exposades en el punt 7, es calcula la concentració de  $CO_2$ . Per tant la precisió del valor de la concentració depèn del valor del voltatge  $V_{RL}$ . Aquest valor és enter i varia entre 2V a 6V (per  $CO_2$ ) aproximadament. Al ser enter, no conté decimals i per tant el pas d'un voltatge a un altre suposa una gran variació de la concentració de  $CO_2$ .

La introducció de  $CO_2$  a l'interior de la capsa de plàstic es fa simplement bufant a través del tub.

Les primeres mesures es fan sense bufar pel tub, és a dir, es mesura la concentració habitual del recinte. Posteriorment es col·loca la capsa sobre el muntatge i es bufa per tal que entri  $CO_2$  i que la concentració augmenti de manera més ràpida. La figura 9.7 mostra



el fitxer amb les concentracions de CO<sub>2</sub> en ppm.



*Figura 9.7 Fitxer amb dades de concentració de CO<sub>2</sub> (Font: pròpia)*

En el moment en què es comença a bufar pel tub la concentració de CO<sub>2</sub> puja. Es pot veure a la figura 9.7. Quan es retira la capsa, la concentració va tornant als valors habituals de l'habitació.

Posteriorment totes aquestes dades es poden estudiar per tal de veure la seva evolució al llarg del temps. La figura 9.8 mostra l'evolució de les concentracions de CO<sub>2</sub> a l'interior d'una habitació. Les concentracions més elevades s'han forçat tapant el sistema amb una capsa de transparent i bufant per un tub al seu interior. Quan les concentracions superen el límit establert (1000ppm) un LED de color vermell s'encén. La figura 9.9 mostra el LED vermell encès.

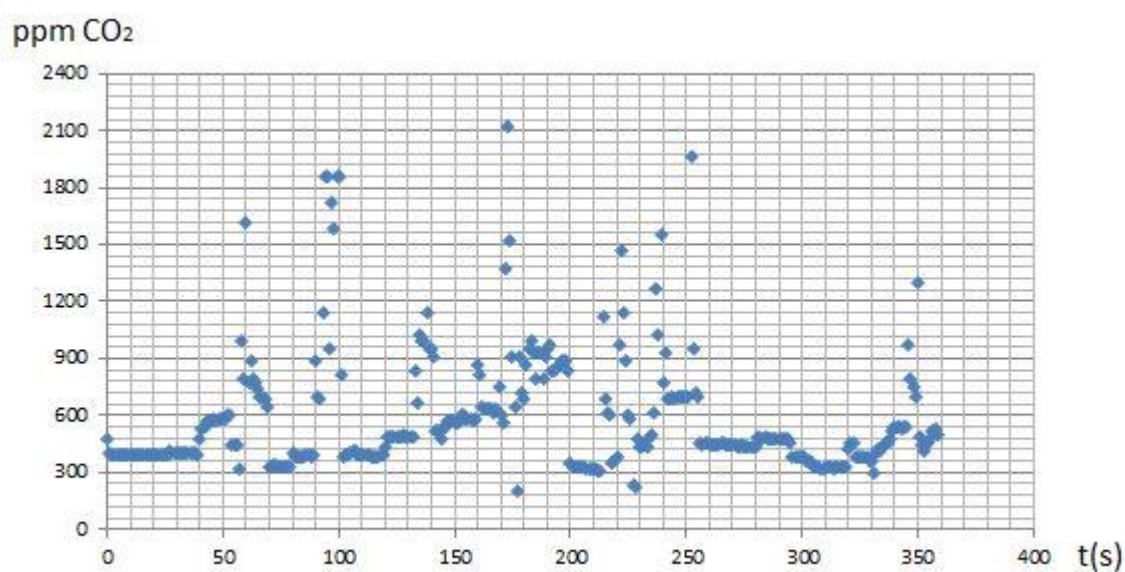


Figura 9.8 Evolució de la concentració de CO<sub>2</sub> (Font: pròpia)

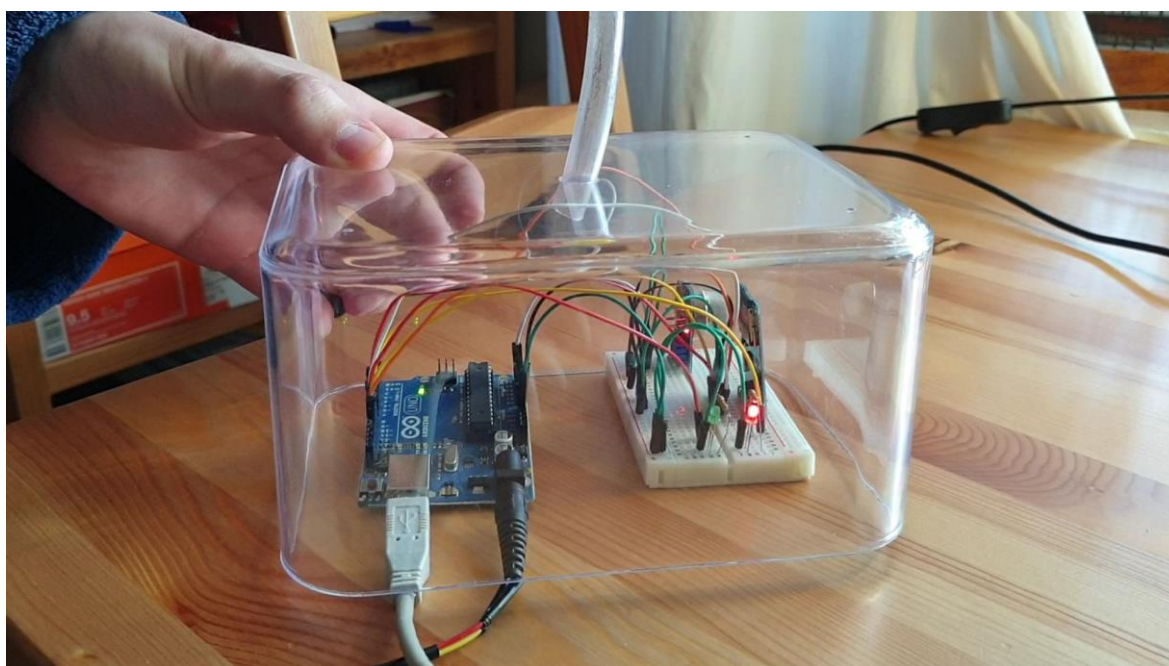


Figura 9.9 Alerta LED vermell (Font: pròpia)

## 10. Muntatge amb Raspberry Pi “Alarma sensor”

### 10.1.Propòsit: “Connexió entre el sistema i dispositiu mòbil”

El propòsit d'aquesta aplicació és la comunicació directa entre el sistema i l'usuari. El context és el següent: en un recinte tancat hi ha el muntatge electrònic de detecció de gasos mesurant en tot moment la concentració d'un gas en particular. En el recinte tancat hi ha persones realitzant alguna activitat. Quan el sensor de gasos detecti un cert nivell de concentració perjudicial per a la salut s'enviarà un missatge d'alerta al telèfon mòbil de les persones que es trobin en el recinte (Aquestes persones han de tenir el telèfon del sistema registrat en el seu telèfon mòbil). L'objectiu és establir una comunicació ràpida, segura, i efectiva entre el dispositiu detector de gasos i l'usuari que es trobi en el recinte per així poder prevenir accidents.

Per fer aquesta aplicació es fa servir el mitjà de comunicació Telegram. Telegram és una aplicació de missatgeria gratuïta i instantània feta amb programari lliure que permet enviar i rebre missatges a través d'internet. Telegram es pot instal·lar a qualsevol dispositiu mòbil amb sistemes operatius Android i iOS, i també per a ordinadors.

Per una banda es té la placa Raspberry Pi amb l'aplicació Telegram instal·lada al seu interior i un usuari amb un telèfon mòbil que disposi de l'aplicació Telegram. Així és com s'estableix la comunicació entre placa i usuari.

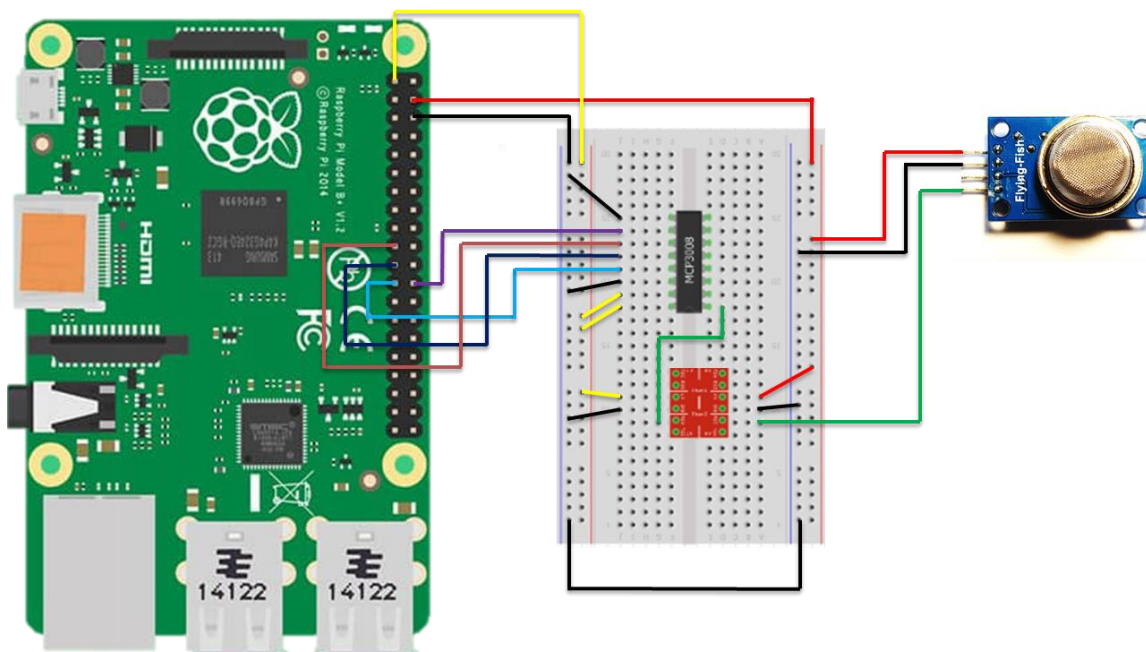
Els motius pels quals s'ha escollit Telegram i no WhatsApp són els següents:

- Telegram pot treballar amb més d'un dispositiu amb el mateix número de telèfon. És a dir, que totes les persones que es trobin en el recinte tancat poden tenir el mateix número de Telegram en el seu dispositiu mòbil i per tant rebrien els missatges del dispositiu detector de gasos. En canvi, WhatsApp només deixa registrar un únic número de telèfon en un sol dispositiu. Si es prova de registrar el mateix número de telèfon en diferents dispositius, WhatsApp deshabilita el número.
- Telegram és una aplicació de programari lliure. Es pot utilitzar el seu codi de forma lliure i adaptar-lo a les necessitats oportunes de cada projecte. En canvi WhatsApp no és de codi lliure.
- Telegram s'adapta de forma correcta al llenguatge de programació Python, que és el llenguatge que es fa servir per fer el codi d'aquesta aplicació. Per altra banda Telegram i Raspberry Pi són compatibles.



## 10.2.Connexions

La figura 10.1 mostra totes les connexions del muntatge.



*Figura 10.1 Connexions circuit “Alarma sensor” (Font: pròpia)*

Els components principals són el sensor MQ135, el convertidor analògic-digital MCP3008, i el convertidor de nivells lògics de 5V a 3.3V. Els pins de la placa Raspberry Pi 3 són digitals i treballen a 3.3V. En canvi el sensor MQ135 treballa a 5V i es fa servir la sortida analògica.

El convertidor de nivells lògics es divideix en dos costats. El costat esquerre que és el costat de voltatge baix (3.3V) i el costat dret de voltatge alt (5V). Els cables de color negre corresponen a terra, els de color vermell corresponen a un voltatge de 5V i els de color groc corresponen a un voltatge de 3.3V.

Del sensor MQ135 surt un cable verd des del pin analògic i entra al convertidor de nivells lògics. El convertidor passa el senyal de 5V a 3.3V. El senyal que surt del convertidor és analògica i per tant s'ha de convertir a digital passant pel convertidor analògic-digital MCP3008. El senyal analògic entra al pin número 1 del convertidor. Les connexions dels pins de la part esquerra del convertidor analògic-digital amb la placa Raspberry Pi són les que es mostren a la figura 10.3.

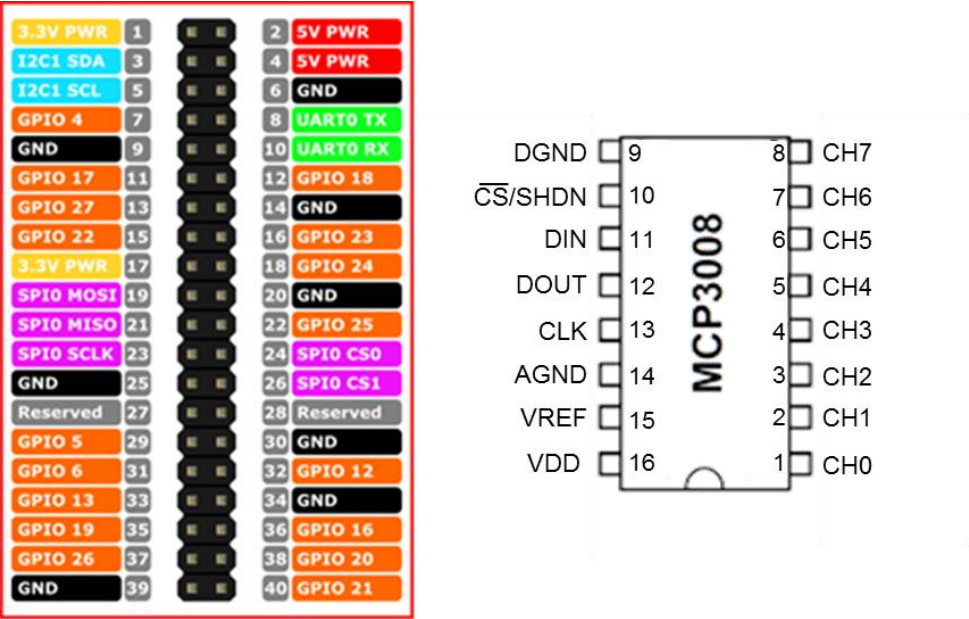


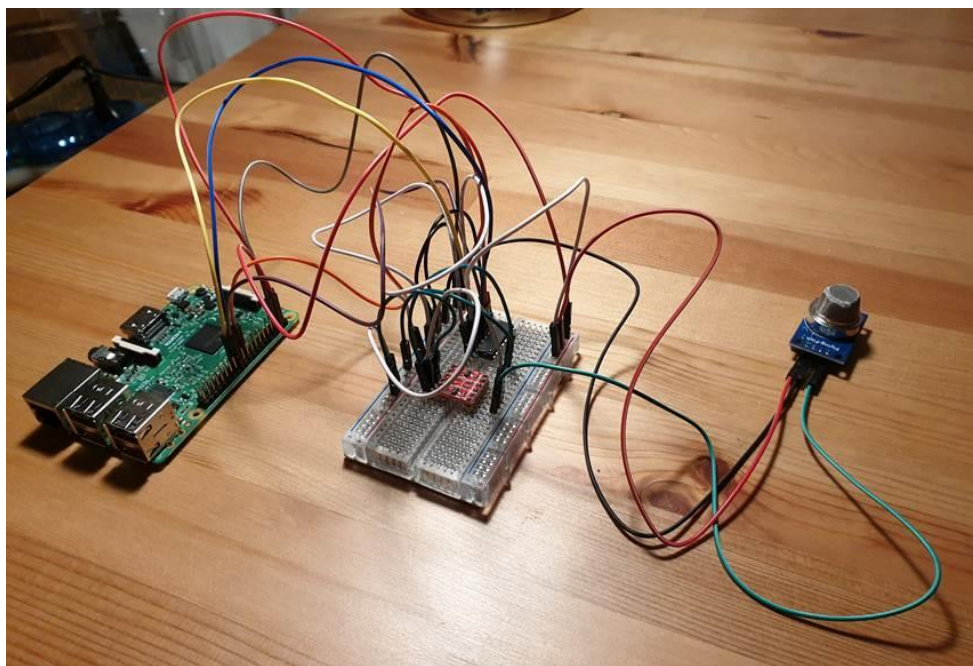
Figura 10.2 Pins MCP3008 i GPIO Raspberry Pi 3 (Font: <https://www.prometec.net/>)

Pins Raspberry Pi 3 b	Pins convertidor A-D
6	9
24	10
19	11
21	12
23	13
6	14
1	15
1	16

Figura 10.3 Connexions entre Raspberry Pi 3 i MCP3008 (Font: pròpia)

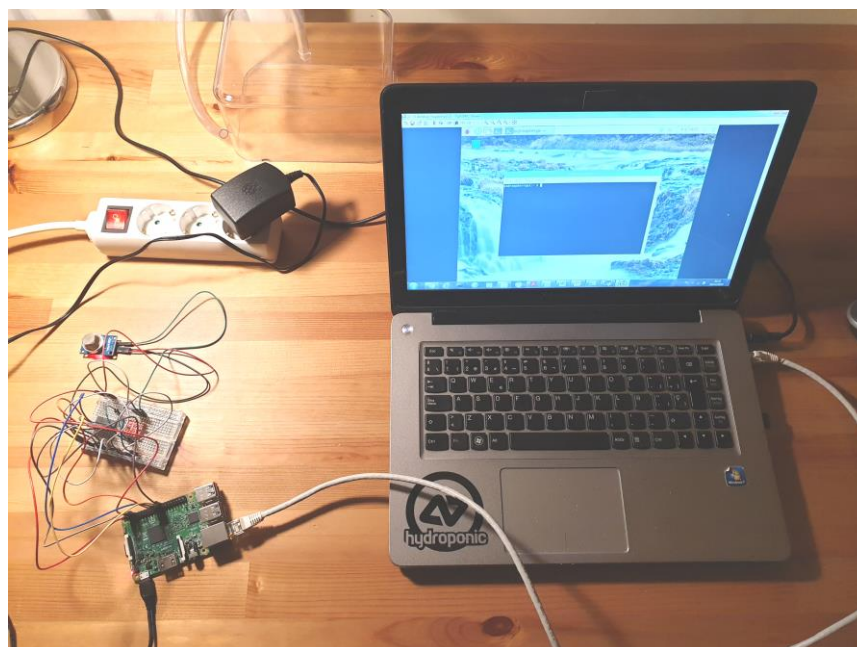
El convertidor analògic-digital fa servir el protocol SPI, per tant els pins 10,11,12 i 13 van connectats als pins de la regió lila de la placa Raspberry Pi.

La figura 10.4 mostra el muntatge.



*Figura 10.4 Muntatge (Font: pròpia)*

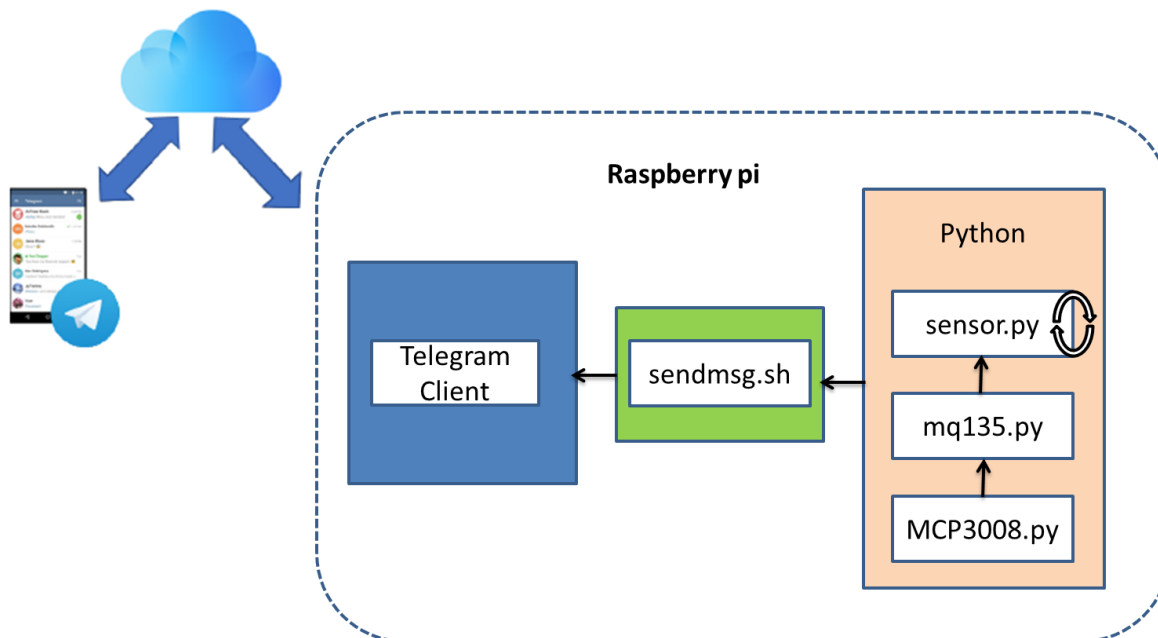
La figura 10.5 mostra el muntatge alimentat amb el cable d'alimentació, i també amb el cable de connexió Ethernet per connectar la placa Raspberry Pi a l'ordinador i així poder-lo fer servir com a pantalla i teclat.



*Figura 10.5 Muntatge complet (Font: pròpia)*

### 10.3. Esquema de funcionament intern

La figura 10.6 mostra totes les connexions que hi ha entre els programes creats per llegir la concentració de CO<sub>2</sub>, la placa Raspberry Pi, el Telegram i l'usuari final.



*Figura 10.6 Esquema de funcionament (Font: pròpia)*

Hi ha tres programes principals:

- Programa sensor.py: És el programa principal i és el que s'executa per tal d'iniciar les lectures de concentració de gasos. És un programa que es repeteix en bucle si ningú l'atura. Cada 5 (aquest temps el pot canviar l'usuari) segons mostra la concentració d'un gas per la pantalla de treball de l'ordinador. Si aquesta concentració és superior a un límit establert, envia un missatge d'alerta mitjançant la plataforma Telegram. Aquest programa necessita el programa mq135.py.
- Programa mq135.py: En aquest programa es fan els calibrats i tots els càlculs corresponents per trobar la concentració d'un gas. (tal com es va fer en el primer muntatge amb Arduino). En particular, s'ha calibrat el sensor per detectar els gasos CO<sub>2</sub>, NH<sub>4</sub> i alcohol. Aquest programa necessita el programa MCP3008.py.
- Programa MCP3008: Aquest programa fa la conversió del senyal analògic procedent del sensor MQ135 a un senyal digital per poder treballar amb la placa Raspberry Pi.

Els missatges que surten de sensor.py s'envien a través de sendmsg.sh que activa el client de Telegram i s'envien directament al mòbil de l'usuari que es trobi en el recinte.

## 10.4. Experimentació, validació i resultats

L'experimentació que es fa és similar a la del primer muntatge. El sensor MQ135 està calibrat per captar CO<sub>2</sub>. El sensor està captant en tot moment les concentracions de CO<sub>2</sub> en el recinte tancat. A diferència del primer muntatge, les dades no s'emmagatzemen en cap lloc. Per tal d'accelerar l'experiment s'utilitza com a recinte tancat una capsula de metacrilat transparent amb un forat per introduir el gas CO<sub>2</sub>. Quan la concentració de CO<sub>2</sub> superi un cert nivell establert que sigui perjudicial per a la salut, el sistema "alarma sensor" envia un missatge d'alerta a tots els ocupants del recinte. Aquests poden actuar en conseqüència per tal de millorar la qualitat de l'aire que estan respirant i evitar possibles accidents. Un cop la concentració de CO<sub>2</sub> torna a un nivell que es troba dins d'un rang acceptable, el sistema "alarma sensor" envia un missatge dient que el nivell de concentració de CO<sub>2</sub> és adequat.

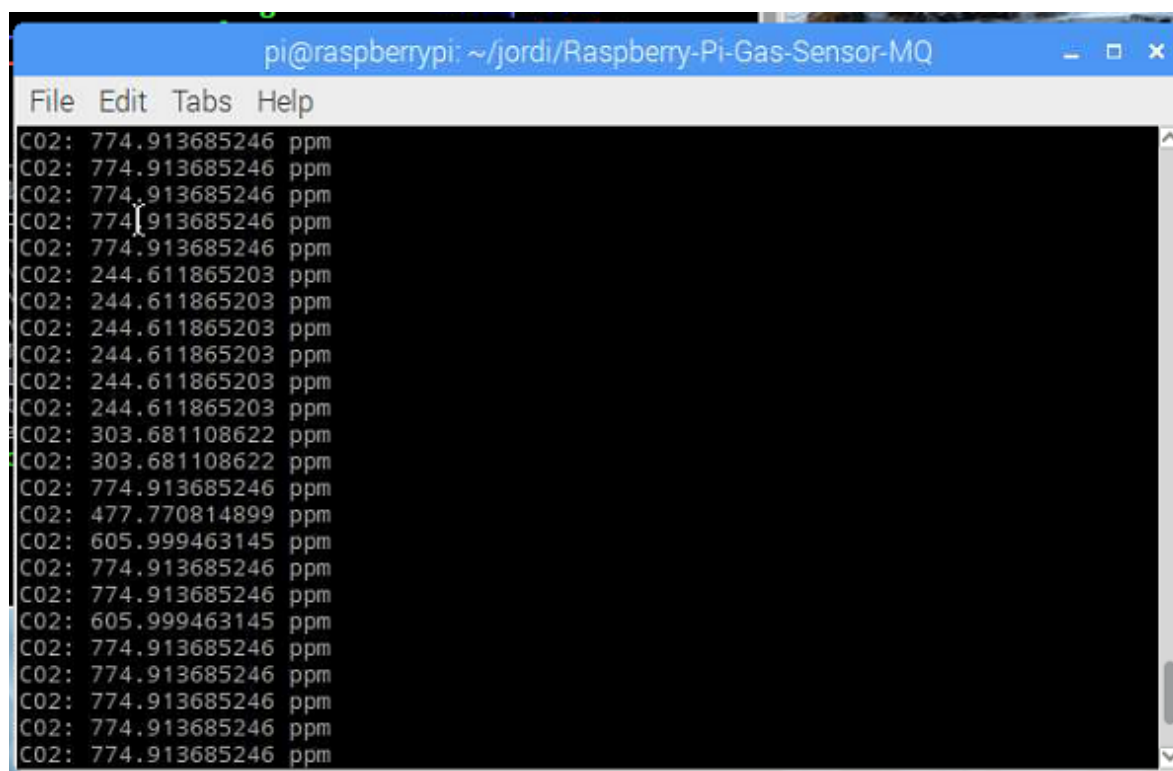
Els missatges que envia el sistema "alarma sensor" als ocupants del recinte són els següents:

- Missatge per indicar que el sensor està en funcionament: "Lectura de sensor MQ-135 activada"
- Missatge per indicar que la concentració ha superat un cert valor límit: "Nivell CO2 superior a (valor límit)ppm (valor actual de concentració en ppm)"
- Missatge per indicar que la concentració s'ha restablert: "Nivell CO2 normalitzat: (valor actual de concentració en ppm)"
- Missatge per indicar que el sensor deixa de funcionar: "Lectura de sensor MQ-135 desactivada"

El valor límit que s'ha establert per la concentració de CO<sub>2</sub> és de 1000ppm. El codi del programa està a l'annex. El programa es diu sensor.py.

Quan s'executa el programa sensor.py surten cada 5 segons per pantalla els valors de concentració de CO<sub>2</sub>. La figura 10.7 mostra els valors de concentració de CO<sub>2</sub>.





*Figura 10.7 Valors de concentració de CO<sub>2</sub> (Font: pròpia)*

S'ha fet la mesura en el menjador de casa meua on la concentració de CO<sub>2</sub> és aproximadament de 774 ppm. Per veure canvis s'ha obert la finestra durant uns segons per renovar l'aire de l'habitació. Es pot observar el canvi, ja que la concentració baixa de 774 a 244-303-477, etc. Quan es tanca la finestra, la concentració torna a l'habitual.

Per tal que la concentració de CO<sub>2</sub> superi el límit establert de 1000 ppm de forma ràpida, es col·loca una capsula de metacrilat transparent i es bufa per un tub. A continuació es retira la capsula per tal que la concentració es normalitzi. La figura 10.8 mostra una captura de pantalla del mòbil de l'usuari (en aquest cas jo) que es troba en el recinte on es fan les mesures. Es pot observar tots els missatges que la placa Raspberry Pi envia al telèfon mòbil de l'usuari que està a dins del recinte segons els valors de concentració de CO<sub>2</sub>.

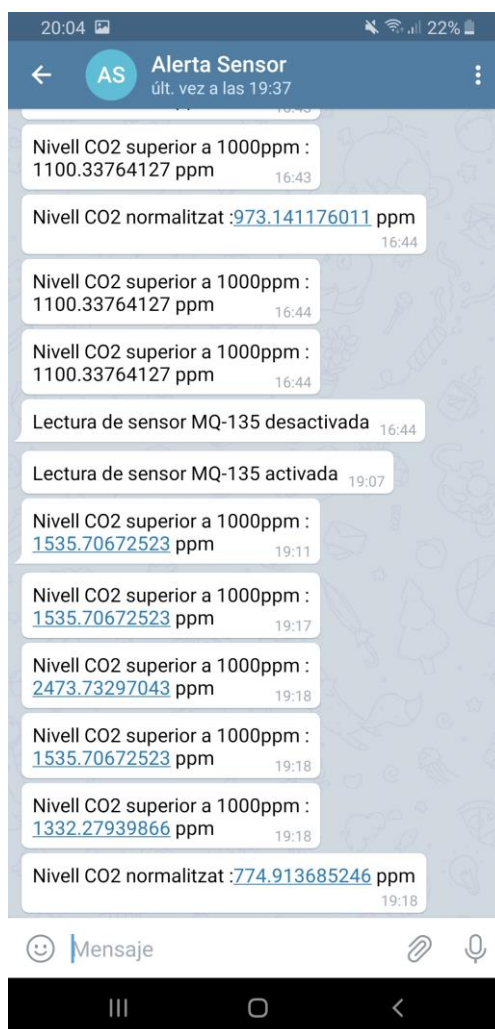


Figura 10.8 Missatges de Telegram (Font: pròpia)

## 11. Escenaris d'aplicació del sistema

### 11.1.Descripció de l'entorn i mode d'ús

#### 11.1.1. Sistema datalogger

Els possibles entorns on pot ser útil el sistema d'emmagatzematge de dades són entorns tancats en què es vulgui fer un seguiment de les concentracions d'uns gasos determinats. Els possibles entorns poden ser per exemple: oficines d'un edifici, habitacions d'hospital, sales de reunions, cuines de restaurants, habitacions de cases domèstiques, aules d'escoles, tallers, laboratoris, despatxos, teatres, cinemes, etc.

El mode d'ús és el següent: en el mateix programa s'ha d'especificar el temps de mesuratge. Quan s'executa el programa, totes les dades de concentració s'emmagatzemen en una targeta micro SD. Quan s'acaba el temps de mesuratge (el LED de color verd deixa de parpellejar), s'extreu la targeta micro SD del lector de targetes i s'introdueix mitjançant un adaptador micro SD-USB a l'ordinador. A partir d'aquí ja es pot procedir a fer l'anàlisi de les dades.

Al principi del codi del programa, hi ha tres línies de codi per ajustar el temps de mesuratge de dades, segons les necessitats de l'usuari. Les línies són les següents:

```
//Constants a ajustar per temps de mesura
const int NUM_MESURES = 31;
const int DELAY_BLINK_MESURA = 200;
const int DELAY_ENTRE_MESURES = 1000 - DELAY_BLINK_MESURA;
```

La primera constant és el nombre de mesures que es volen fer. La segona constant és el temps en què el LED de color verd està encès per cada mesura. La tercera constant és el temps que hi ha entre mesures. Per tal d'ajustar el temps de mesuratge només cal canviar el temps entre mostres i el nombre de mostres per tal d'aconseguir el temps desitjat. Les unitats del temps són mil·lisegons.

#### 11.1.2. Sistema Alarma sensor

El sistema "alarma sensor" pot ser útil en moltes situacions on es vol fer un control de la concentració d'un determinat gas per tal de prevenir possibles accidents. El sensor mq135 pot captar diferents gasos com el NH<sub>4</sub>, NO<sub>x</sub>, alcohol, benzè, fum de tabac, CO<sub>2</sub>, etc. Per



qualsevol d'aquests gasos es pot aplicar el sistema alarma sensor. L'entorn on es pot utilitzar és a qualsevol entorn tancat en què es vulgui controlar la concentració d'un cert gas.

El mode d'ús és el següent: l'usuari ha d'executar el programa i ja està. És a dir, el sistema va mesurant la concentració d'un gas en concret, i envia missatges al mòbil de l'usuari segons els valors d'aquestes concentracions. L'usuari només ha de tenir el mòbil amb el so de les notificacions alt per tal que quan la concentració superi un cert valor, aquest soni degut al missatge d'alerta que ha enviat el sistema "alarma sensor".

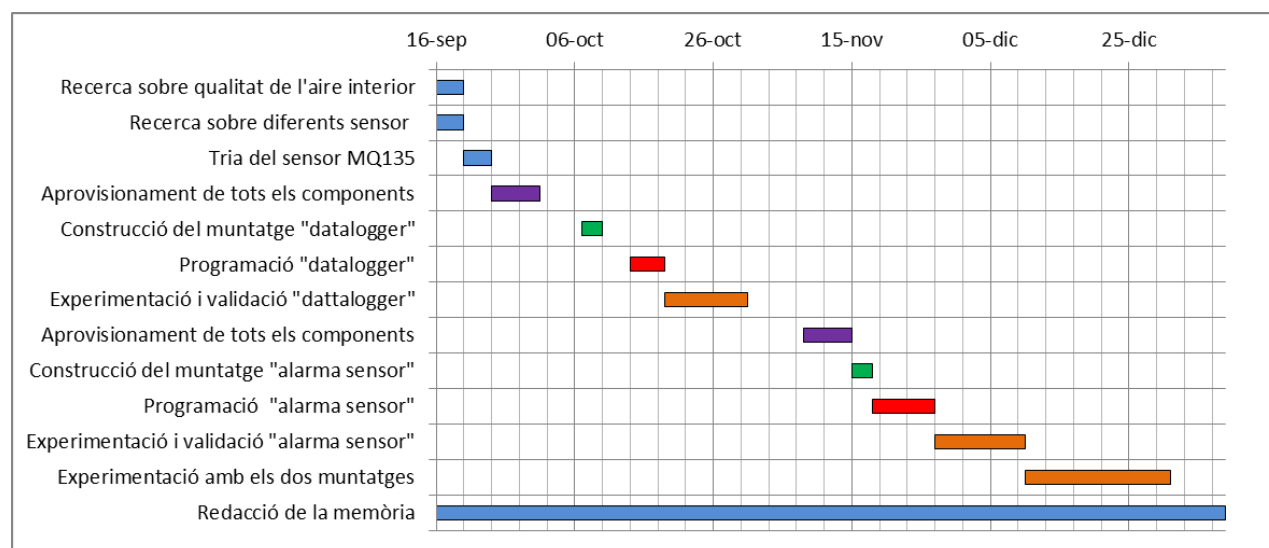
Una aplicació d'especial interès i de gran importància és el tema del monòxid de carboni. Tal com ja s'ha explicat en els primers punts del treball, el monòxid de carboni és un gas que a una certa concentració i depenen del temps d'exposició pot causar la mort.

L'intoxicació per monòxid de carboni provoca una mitjana de 125 morts anuals, segons un estudi de la societat espanyola de pneumologia i cirurgia toràctica (Separ).

Emprant el sensor MQ7, que és el sensor indicat per mesurar concentracions de monòxid de carboni, i emprant la mateixa filosofia del sistema descrit anteriorment, es pot fer un sistema que t'alerti quan la concentració de CO superi un cert valor i així poder actuar en conseqüència per tal de prevenir un possible accident.

## 12. Planificació temporal

Aquest projecte s'ha realitzat des del mes de Setembre de 2019 fins al Gener del 2020. S'ha fet un llistat de les activitats principals del projecte amb les seves duracions aproximades. El diagrama de Gantt que es mostra a la figura 12.1 il·lustra el treball realitzat.



*Figura 12.1 Diagrama de Gantt (Font: pròpia)*

Pel que fa als aspectes de programació, s'ha indicat la duració com a fixa, però sempre hi ha hagut coses per millorar, codi que es pot millorar i fer més eficient. Per tant el codi dels dos muntatges electrònics s'ha anat millorant a mesura que avançava el projecte.

## 13. Costos del projecte

El cost del projecte es divideix en el cost del material i el cost que suposaria a un enginyer realitzar el projecte. Com que s'han fet dos muntatges es calcula el cost de cada per separat i també es calcula el preu total de realitzar tot el projecte.

### Costos muntatge sistema Datalogger

Element	Quantitat	Preu unitari [€]	Preu conjunt [€]
Placa Arduino UNO	1	21,18	21,18
Sensor MQ135	1	3	3
LED vermell i verd	2	0,02	0,04
Resistència 330 ohms	2	0,03	0,06
Lector de targetes microSD	1	3,33	3,33
Micro SD 16GB	1	3,49	3,49
Adaptador micro SD - USB	1	3,99	3,99
Adaptador de corrent (Alimentació)	1	14,16	14,16
Protoboard 400 punts	1	4,46	4,46
cables pont M-M	65	0,07	4,55
Cables pont M-H	10	0,33	3,30
<b>Total</b>			<b>61,56</b>

**Costos muntatge sistema Alarma sensor**

Element	Quantitat	Preu unitari [€]	Preu conjunt [€]
Placa Raspberry pi 3 b	1	39,33	39,33
Sensor MQ135	1	3	3
MCP3008	1	4,26	4,26
Convertidor nivells lògics 5V – 3.3V	1	2,32	2,32
Protoboard 400 punts	1	4,46	4,46
cables pont M-M	65	0,07	4,55
Cables pont M-H	10	0,33	3,30
Cable Ethernet	1	1,45	1,45
Cable alimentació	1	8,95	8,95
		Total	71,62

**Costos treball de realitzar el projecte**

Tasca	Hores invertides	Preu/hora [€/h]	Preu total [€]
Muntatge 1	7	30	210
Muntatge 2	6	30	180
Programació 1	6	35	210
Programació 2	9	35	315
Proves	10	30	300
Memòria	50	15	750

Total	1965
-------	------

El cost total del projecte és de 2098 euros.

## 14. Impacte ambiental

Tots els components utilitzats en el projecte tenen una vida útil. Per tal de minimitzar l'impacte ambiental, un cop aquests components ja s'hagin de llençar, s'han de portar en centres de reciclatge especialitzats. Així s'evita l'impacte ambiental que suposaria llençar els components per exemple en un abocador o en qualsevol lloc no adequat.

El projecte realitzat en si, té un impacte ambiental positiu, ja que d'alguna manera intenta ajudar als usuaris per tal d'analitzar les concentracions de diferents gasos contaminants que hi ha a l'aire interior. Per tant els usuaris d'aquest sistema poden prendre mesures per tal de millorar la qualitat de l'aire que estan respirant.

## 15. Conclusions

Com a conclusions d'aquest projecte, s'han assolit tots els objectius establerts a l'inici del projecte.

S'ha pogut veure la importància que té la qualitat de l'aire en recintes interiors, tant en la salut de les persones com en el rendiment que poden tenir aquestes en condicions ambientals desfavorables. La majoria de la població creu que està més "segur" en recintes tancats i no són conscients dels possibles contaminants que es poden generar en aquests recintes. Amb aquest projecte també s'ha donat una mica de visibilitat en aquest tema.

Els dos muntatges realitzats funcionen perfectament i compleixen el seu propòsit. Els sistemes realitzats són econòmics i també es poden transportar d'un lloc a un altre amb facilitat.

Respecte a tot el coneixement que he adquirit realitzant aquest projecte, cal destacar aspectes de programació, utilització de les plaques Arduino UNO i Raspberry Pi, muntatge de circuits electrònics, entendre tota la documentació tècnica dels components, etc.

He pogut aplicar molts aspectes estudiats durant la carrera, especialment aspectes relacionats amb l'electrònica de circuits i sistemes d'emmagatzematge de dades, estudiats a l'assignatura d'electrònica de quart curs, i aspectes de programació, en particular aspectes relacionats amb programació estudiats a l'assignatura fonaments d'informàtica de primer curs.

## 16. Agraïments

Agrair al meu tutor de TFG Jesús pel seguiment que ha fet i pels consells que m'ha donat.

Agrair també a la meva família pel suport rebut durant tota la carrera.

Al meu pare i germà per l'ajuda sobre temes relacionats amb programació.



## 17. Bibliografia

Luis Llamas. (2016, 21 octubre). DETECTOR DE GASES CON ARDUINO Y LA FAMILIA DE SENSORES MQ. Recuperat el 20 setembre, 2019, de <https://www.luisllamas.es/arduino-detector-gas-mq/>

Naylamp Mechatronics. (s.f.). Tutorial sensores de gas MQ2, MQ3, MQ7 y MQ135. Recuperat el 22 setembre, 2019, de [https://naylampmechatronics.com/blog/42\\_Tutorial-sensores-de-gas-MQ2-MQ3-MQ7-y-MQ13.html](https://naylampmechatronics.com/blog/42_Tutorial-sensores-de-gas-MQ2-MQ3-MQ7-y-MQ13.html)

Xavier Guardino Solá. (s.f.). CALIDAD DEL AIRE INTERIOR. Recuperat el 17 setembre, 2019, de Article

Dirección General de Industria, Energía y Minas de la Comunidad de Madrid. (2016, septiembre). Guía de Calidad del Aire Interior. Recuperat el 17 setembre, 2019, de <http://www.madrid.org/bvirtual/BVCM015715.pdf>

EduBasica. (s.f.). Información básica sobre Arduino. Recuperat el 20 setembre, 2019, de [http://www.practicasconarduino.com/manualrapido/informacin\\_bsica\\_sobre\\_arduino.html](http://www.practicasconarduino.com/manualrapido/informacin_bsica_sobre_arduino.html)

Xataka Basics. (2018, 3 agosto). Qué es Arduino, cómo funciona y qué puedes hacer con uno. Recuperat el 20 setembre, 2019, de <https://www.xataka.com/basics/que-arduino-como-functiona-que-puedes-hacer-uno>

Arduino. (s.f.). What is Arduino? Recuperat el 20 setembre, 2019, de <https://www.arduino.cc/en/Guide/Introduction>

Arduino. (s.f.). [Página oficial Arduino]. Recuperat el 20 setembre, 2019, de <https://www.arduino.cc/>

HANWEI ELECTRONICS CO.,LTD. (s.f.). [Datasheet sensor MQ-135]. Recuperat el 21 setembre, 2019, de [https://www.electronicoscaldas.com/datasheet/MQ-135\\_Hanwei.pdf](https://www.electronicoscaldas.com/datasheet/MQ-135_Hanwei.pdf)

Aprendiendo Arduino. (2017, 21 junio). Memoria Flash, SRAM y EEPROM. Recuperat el 5 octubre, 2019, de <https://aprendiendoarduino.wordpress.com/2017/06/21/memoria-flash-sram-y-eprom-3/>

Luis Llamas. (2016, 16 octubre). LEER Y ESCRIBIR EN UNA TARJETA SD O MICRO SD CON ARDUINO. Recuperat el 12 novembre, 2019, de <https://www.luisllamas.es/tarjeta->

[micro-sd-arduino/](#)

Microchip Technology Inc.. (2008, 1 febrero). MCP3004/3008 [datasheet]. Recuperat el 20 novembre, 2019, de <http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/21295d.pdf>

RASPBERRY PI FOUNDATION. (s.f.). [Pàgina web oficial Raspberry Pi]. Recuperat el 5 desembre, 2019, de <https://www.raspberrypi.org/>

Makermex S.A. (s.f.). ¿Qué es una Raspberry pi? Recuperat el 6 desembre, 2019, de <http://makermex.com/blog/manufactura-digital-1/post/raspberry-pi-519>

INSTRUCTABLES. (s.f.). Telegram on Raspberry Pi. Recuperat el 15 desembre, 2019, de <http://www.instructables.com/id/Telegram-on-Raspberry-Pi/>

GEEKI THEORY. (s.f.). Tutorial Raspberry Pi - Uso de Telegram des de la terminal. Recuperat el 15 desembre, 2019, de <https://geekytheory.com/tutorial-raspberry-pi-uso-de-telegram-desde-la-terminal>

